



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO SOSTENIBLE DE LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CAMPUS SUR, A PARTIR DEL
APROVECHAMIENTO DEL MANANTIAL DEL BLOQUE G**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Civil

AUTOR: Joel Stevens Capus Moreno

TUTOR: Christian Gonzalo Domínguez González

Quito - Ecuador
2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Joel Stevens Capus Moreno con documento de identificación N° 1751495423; manifiesto que:

Soy el autor y responsables del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 30 de julio del 2025

Atentamente,



Joel Stevens Capus Moreno
1751495423

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Joel Stevens Capus Moreno con documento de identificación N° 1751495423; expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Diseño del sistema de riego sostenible de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur, a partir del aprovechamiento del manantial del bloque G” el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 30 de julio del 2025

Atentamente,



Joel Stevens Capus Moreno

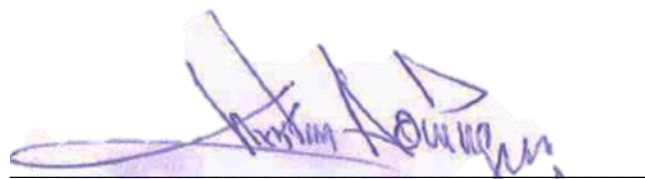
1751495423

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Christian Gonzalo Domínguez González con documento de identificación N° 1716568785, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO SOSTENIBLE DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CAMPUS SUR, A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DEL MANANTIAL DEL BLOQUE G, realizado por Joel Stevens Capus Moreno con documento de identificación N° 1751495423, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 30 de julio del 2025

Atentamente,



Ing. Christian Gonzalo Domínguez González, PhD

1716568785

DEDICATORIA

Principalmente a Dios, por darme la oportunidad, la salud y la fuerza para poder formarme como un profesional, por darme las herramientas y los caminos para alcanzar esta importante etapa de mi vida.

A mis cuatro pilares principales, mi madre Emilia, mi padre Marcelo, mi hermano Erick y mi abuelito Miguel, que, con esmero, dedicación y mucho amor han apoyado mi formación desde el día uno hasta el día de hoy para que yo sea un profesional y un buen ser humano.

A mí, por el esfuerzo, los sacrificios, el trabajo, las amanecidas y las lágrimas que costo llegar hasta este punto de mi vida.

A cada docente que forjó mi conocimiento, que con tanto esmero y dedicación dieron un granito para que pueda cumplir mi meta.

Finalmente, a cada persona que llevo en el corazón y que han aportado en mi vida y que, directa o indirectamente, me encaminaron hasta esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Padre celestial, a ti te doy gracias porque tu fuiste mi pilar principal que me saco adelante, que me dio fuerzas para no desmayar durante los momentos más adversos de mi vida, a ti que celebró mis alegrías y estuvo en mis derrotas. Gracias padre porque obraste en mí y me moldeas para ser un buen profesional y un buen hijo tuyo.

A mi familia, madre, padre, papito Miguel, esto es por ustedes por su anhelo de verme como un profesional y por siempre velar por que nada me falte, gracias por todo ese apoyo incondicional en los momentos en los que más necesite de ustedes. Hermano gracias porque tú eres mi inspiración y ese pequeño motor que me impulsa a ser mejor cada día. Gracias Miguelito porque crió a un nieto de bien y que busca superarse cada día. A usted cuatro gracias infinitas porque batallaron a mi lado en esos momentos donde la vida me pesó un poquito y cuando mi salud enfrentó dificultades

A todos los ingenieros de la carrera, porque formaron parte de lo que soy, porque sus enseñanzas y experiencias forjaron no solo mi profesión, sino también mi vida, porque de cada uno de ustedes aprendí algo que llevo en mi corazón.

A todos mis amigos y compañeros de carrera, porque hicieron amena mi vida universitaria, porque las risas, las conversaciones, los aprendizajes y el compartir experiencias me permitió continuar hacia adelante.

A mis amigos más personales, que, aunque estén o no en mi vida actualmente, siempre los recuerdo con cariño y aprecio porque dieron su apoyo a mi formación.

Me agradezco a mí, por las amanecidas, los momentos de estrés, el trabajo arduo que no fue en vano y hoy esos esfuerzos y sacrificios están dando frutos gracias a la dedicación, el amor a la carrera y las ganas de salir adelante por tus sueños.

Finalmente, agradezco a mi familia en general, que con su apoyo moral siguieron impulsando mi carrera, porque siempre se alegraron al verme superar cada reto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Problema de Estudio	2
1.3. Importancia y Alcance	3
1.4. Delimitaciones	4
1.5. Justificación	6
1.6. Grupo Beneficiario	7
1.7. Objetivos	7
1.7.1. Objetivo General	7
1.7.2. Objetivos Específicos	7
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1. Sistemas de Riego	8
2.1.1. Tipos de Sistemas de Riego	8
2.1.2. Riego por Aspersión	9
2.2. Recurso Hídrico	10
2.2.1. Caudal	10
2.2.2. Determinación de Caudales	10
2.2.3. Fuentes de Agua	11
2.2.3.1. Quebradas	11
2.2.3.2. Ojos de Agua	11
2.2.3.3. Pozos	11
2.2.4. Aguas Subterráneas	11
2.2.4.1. Caudales Subterráneos	12
2.2.5. Métodos de Aforamiento	12
2.2.5.1. Aforo por Tubo Venturi	12
2.2.5.2. Aforo por Colorantes	12
2.2.5.3. Aforo por Caída Libre	12
2.2.5.4. Aforo por Molinete	13
2.2.5.5. Aforo por Flotador	13
2.2.5.6. Aforo Volumétrico	13

2.2.6.	Diver Odyssey Data Logger _____	14
2.3.	Generalidades de Diseño de un Sistema de Riego _____	15
2.4.	Diseño Agronómico _____	16
2.4.1.	Relación Suelo-Agua _____	16
2.4.2.	Cualidades Físicas del Suelo _____	16
2.4.2.1.	Textura _____	16
2.4.2.2.	Estructura _____	17
2.4.2.4.	Profundidad _____	17
2.4.2.5.	Topografía _____	18
2.4.2.6.	Humedad del Suelo _____	18
2.4.2.7.	Factor de Agotamiento (f) _____	20
2.4.2.8.	Infiltración _____	21
2.4.3.	Relación Agua – Suelo – Clima _____	22
2.4.3.1.	Evaporación _____	22
2.4.3.2.	Transpiración _____	22
2.4.3.3.	Evapotranspiración _____	22
2.4.3.4.	Determinación de la Evapotranspiración Referencial de Cultivo (ET _o) _____	23
2.4.3.5.	Ecuación de Penman - Monteith _____	24
2.4.3.6.	Coefficiente único de Cultivo (K _c) _____	26
2.4.3.7.	Cálculo de evapotranspiración de cultivo (ET _{cultivo}) _____	27
2.4.4.	Planificación de Riego _____	28
2.4.4.1.	Precipitación Efectiva (P _e) _____	28
2.4.4.2.	Demandas de Riego Neta y Total _____	29
2.4.4.3.	Eficiencia del Método de Riego _____	29
2.4.4.4.	Láminas de Riego neta y Total _____	30
2.4.4.5.	Frecuencia de Riego _____	31
2.4.4.6.	Tiempo de Riego _____	32
2.4.4.7.	Espaciamiento Máximo entre Aspersores _____	32
2.5.	Diseño Hidráulico _____	33
2.5.1.	Conceptos Básicos de Hidráulica para Riego _____	33
2.5.1.1.	Ecuación de la Continuidad- _____	33
2.5.1.2.	Hidrostática _____	34
2.5.1.3.	Hidrodinámica _____	34
2.5.1.4.	Fricción y Turbulencia _____	34

2.5.1.5.	Pérdidas de Carga	35
2.5.1.6.	Número de Reynolds	35
2.5.1.7.	Ecuación de Darcy-Weisbach	36
2.5.1.8.	Ecuación de Hazen-Williams	37
2.5.1.9.	Pérdidas Locales	38
2.5.2.	Consideraciones del Riego por Aspersión	38
2.5.2.1.	Bombas para Riego	38
2.5.2.2.	Línea de Conducción	39
2.5.2.3.	Aspersores	39
2.5.2.4.	Efecto de la Presión	39
2.6.	Modelación Software WaterCAD	40
CAPÍTULO III		41
RECOPIACIÓN DE DATOS		41
3.1.	Determinación de Niveles de Cárcamo	41
3.1.1.	Medición de Niveles de Agua	41
3.2.	Información Topográfica	42
3.3.	Datos Meteorológicos	43
CAPÍTULO IV		48
DETERMINACIÓN DE CAUDALES		48
4.1.	Estimación Diferencia de Niveles	48
4.2.	Determinación de Caudales	48
CAPÍTULO V		51
DISEÑO DE PLAN DE RIEGO		51
5.1.	Determinación de la Evapotranspiración Referencial y Precipitación Efectiva	51
5.1.1.	Evapotranspiración Referencial	51
5.1.2.	Precipitación Efectiva	52
5.2.	Definición de Parámetros	52
5.2.1.	Asignación de Cultivo	52
5.2.2.	Asignación de Suelo	53
5.3.	Evapotranspiración de Cultivo (ETcultivo)	54
5.4.	Requerimientos Hídricos	54
5.5.	Eficiencia de Riego	55
5.6.	Demanda de Riego	55
5.7.	Lámina de Riego	56

5.8.	Frecuencia de Riego	56
5.9.	Tiempo de Riego	56
5.10.	Lámina de Riego Ajustada	57
5.11.	Programación de Riego	57
CAPÍTULO VI		58
DISEÑO HIDRÁULICO		58
6.1.	Parámetros de Diseño	58
6.1.1.	Área y Volumen Regable	58
6.1.2.	Selección de Aspersores	60
6.1.3.	Número y Espaciamiento de Aspersores	60
6.2.	Modelación en WaterCAD	62
6.2.1.	Ubicación de Aspersores	62
6.2.2.	Trazado del Sistema de Riego	62
6.2.3.	Diámetro de Tuberías	64
6.2.4.	Sistema de Almacenamiento	65
6.2.5.	Bombas	66
6.2.5.1.	Selección de Bombas	66
6.2.5.2.	Bombas para Riego	66
6.2.5.3.	Bomba de Impulsión	67
6.2.6.	Escenarios y alternativas	70
6.2.7.	Demandas de Riego	71
6.3.	Reporte de Resultados	73
CONCLUSIONES		91
RECOMENDACIONES		93
REFERENCIAS		94
ANEXOS		97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tamaños de Partículas</i> _____	16
Tabla 2 <i>Porcentaje de Porosidad por Suelo</i> _____	17
Tabla 3 <i>Profundidad Radicular de Cultivos</i> _____	18
Tabla 4 <i>Promedios de Características Físicas por Textura</i> _____	20
Tabla 5 <i>Factor de Agotamiento por Cultivo</i> _____	21
Tabla 6 <i>Velocidad de Infiltración por Suelo</i> _____	21
Tabla 7 <i>Coefficiente de Cultivo por Fase</i> _____	27
Tabla 8 <i>Eficiencia de Riego por Método</i> _____	30
Tabla 9 <i>Separación Máxima entre Aspersores</i> _____	33
Tabla 10 <i>Coefficiente C de Hazen Williams</i> _____	37
Tabla 11 <i>Datos Meteorológicos Estación Izobamba</i> _____	44
Tabla 12 <i>Resultados de Evapotranspiración</i> _____	51
Tabla 13 <i>Datos Asignados para Pasto</i> _____	53
Tabla 14 <i>Resultados de Evapotranspiración de Cultivo</i> _____	54
Tabla 15 <i>Resultados de Demanda de Riego</i> _____	56
Tabla 16 <i>Resultados de Lámina de Riego Ajustada</i> _____	57
Tabla 17 <i>Áreas y Volumen Línea de Riego A</i> _____	58
Tabla 18 <i>Áreas y Volumen Línea de Riego Cancha Oeste</i> _____	59
Tabla 19 <i>Áreas y Volumen Línea de Riego B</i> _____	59
Tabla 20 <i>Áreas y Volumen Línea de Riego Cancha Norte</i> _____	59
Tabla 21 <i>Numero de Aspersores de Boquilla Rotativa</i> _____	61
Tabla 22 <i>Número de Aspersores de Boquilla de Alta Eficiencia</i> _____	61
Tabla 23 <i>Diámetro de Tuberías Utilizadas</i> _____	65
Tabla 24 <i>Volúmenes de Áreas de Riego</i> _____	65

Tabla 25 Dimensiones Propuestas y Volumen Calculado _____	66
Tabla 26 <i>Parámetros de Diseños de Bomba</i> _____	67
Tabla 27 <i>Cálculo Factor de Fricción</i> _____	69
Tabla 28 <i>Demandas para Línea de Riego A</i> _____	71
Tabla 29 <i>Demanda para Línea de Riego B</i> _____	72
Tabla 30 <i>Demanda para Riego en Línea Cancha Oeste</i> _____	72
Tabla 31 <i>Demanda para Línea de Riego Cancha Norte</i> _____	72
Tabla 32 <i>Tabla de Resultados de Tuberías Línea de Riego A</i> _____	74
Tabla 33 <i>Tabla de Resultados de Aspersores Línea de riego A</i> _____	75
Tabla 34 <i>Resultados de Tuberías línea de Riego B</i> _____	78
Tabla 35 <i>Tabla de Resultados de Aspersores Línea B</i> _____	79
Tabla 36 <i>Resultados de Tubería Línea de Riego Cancha Oeste</i> _____	81
Tabla 37 <i>Resultados de Aspersores Línea de Riego Cancha Oeste</i> _____	81
Tabla 38 <i>Resultados de Tuberías Línea de Riego Cancha Norte</i> _____	84
Tabla 39 <i>Resultados de Aspersores Línea Cancha Norte</i> _____	85
Tabla 40 <i>Tabla de Resultados de Tubería de Bombeo</i> _____	88
Tabla 41 <i>Tabla de Resultados de Tanque</i> _____	88
Tabla 42 <i>Resultados de Diseño</i> _____	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Sistema de Drenaje y Bombeo</i>	2
Figura 2 <i>Identificación Satelital Campus Sur</i>	4
Figura 3 <i>Edificaciones de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur</i>	5
Figura 4 <i>Delimitación de las Áreas del Campus Sur</i>	6
Figura 5 <i>Funcionamiento del Riego por Aspersión</i>	9
Figura 6 <i>Método Volumétrico</i>	14
Figura 7 <i>Dispositivo de Medición</i>	15
Figura 8 <i>Proceso de Evapotranspiración</i>	23
Figura 9 <i>Curva Generalizada de Coeficiente de Cultivo K_c</i>	27
Figura 10 <i>Instalación de Equipo de Medición</i>	42
Figura 11 <i>Referencia Topográfica de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur</i>	43
Figura 12 <i>Gráfica Temperatura Mensual</i>	45
Figura 13 <i>Grafica de Humedad</i>	45
Figura 14 <i>Datos de Insolación</i>	46
Figura 15 <i>Datos de Precipitación</i>	46
Figura 16 <i>Datos de Velocidad de Viento</i>	47
Figura 17 <i>Caudales Medios Diarios</i>	50
Figura 18 <i>Precipitación Efectiva</i>	52
Figura 19 <i>Grafica Requerimiento Hídrico</i>	55
Figura 20 <i>Trazado del Modelo</i>	63
Figura 21 <i>Definición de Bomba con Carga Dinámica</i>	70
Figura 22 <i>Esquema del Trazado de la Línea de Riego A</i>	75
Figura 23 <i>Perfil de Línea de Riego A Tramo 1</i>	76
Figura 24 <i>Perfil de la línea de Riego A Tramo 2</i>	76

Figura 25 <i>Esquema del Trazado de la Línea de Riego B</i>	79
Figura 26 <i>Perfil de Línea de Riego B</i>	80
Figura 27 <i>Esquema del Trazado de la Línea de Riego Cancha Oeste</i>	82
Figura 28 <i>Perfil de la Línea de Riego Cancha Oeste</i>	82
Figura 29 <i>Esquema del Trazado de la Línea de Riego Cancha Norte</i>	85
Figura 30 <i>Perfil de la Línea de Riego Cancha Norte</i>	86
Figura 31 <i>Esquema del Trazado de la Línea de Bombeo</i>	89
Figura 32 <i>Perfil de Línea de Bombeo</i>	89

RESUMEN

En este proyecto de titulación, se propone el diseño de un sistema de riego aprovechando la descarga del manantial que existe en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana campus sur, que actualmente se encuentra sin ningún uso. Con ese fin, el trabajo de titulación se basa en la metodología cuantitativa, que integra la recopilación de datos, la determinación de cálculos y el uso de un modelo computacional para la obtención de parámetros hidráulicos que simulen el comportamiento de la red. A partir de la estrategia metodológica expuesta, el desarrollo del diseño abarca la determinación de caudales disponibles para riego, la estimación de la evapotranspiración y precipitación efectiva, la ejecución de cálculos para determinar la programación y el volumen de riego, y, por último, la elaboración de un modelo hidráulico a partir del Software WaterCAD estableciendo las líneas de conducción del sistema de irrigación. Con los resultados se estableció una red de cuatro líneas de riego por aspersión con presiones de entre 15 a 26 mca, programada para funcionar un día por semana de mayo a noviembre para cubrir una lámina de riego de 13.68 mm/semana. En consecuencia, se obtiene una propuesta factible sobre el aprovechamiento de un recurso hídrico que se encuentra a disposición de la universidad.

Palabras Clave: Sistema de riego, diseño, modelación hidráulica, líneas de riego, áreas de riego, manantial.

ABSTRACT

In this degree project, it is proposed to design an irrigation system by taking advantage of the spring discharge that exists on “*Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur*” premises, which is currently unused. For this purpose, the degree project is based on the quantitative methodology, which integrates data collection, calculation and the use of a computational model to obtain hydraulic parameters that simulate the network performance. Based on the methodological strategy, the development of the design includes the determination of flow available for irrigation, the estimation of the evapotranspiration and effective precipitation, the perform calculations to determine the irrigation schedule and volume and finally, the elaboration of a hydraulic model using WaterCAD Software that determines the conduction lines of the irrigation system. Thus, the results establishing a network of four sprinkler irrigation with pressure between 15 to 26 mwg, programmed to operate one day per week from May to November to cover an irrigation sheet of 13.68 mm/weekend. Consequently, a feasible proposal on the use of water resource available to the university is achieved.

Keywords: irrigation system, design, hydraulic modeling, irrigation lines, irrigation areas, springs.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1. Introducción

El campus sur de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, a fin de solventar propuestas sostenibles dentro de la institución, permite el planteamiento de proyectos que contribuyan el aprovechamiento de afluentes subterráneas existentes como la presencia de ojos de agua en sus instalaciones. Por lo que el presente proyecto plantea el uso de estas aguas freáticas almacenadas en cárcamos, para el desarrollo de un sistema de irrigación para las jardineras y espacios recreativos (canchas de fútbol).

El proyecto técnico se desarrolla con el fin de solventar una necesidad de la universidad, dado a que la misma dentro del marco de la sostenibilidad y gestión ambiental asociada a la agenda 2030 plantea dentro de sus objetivos, establecer una solución para los ojos de agua, debido a que las mismas son desechadas al sistema de alcantarillado a pesar de ser óptimas para proyectos de aprovechamiento.

La propuesta del sistema de riego para el campus sur de la universidad, plantea el desarrollo del proyecto mediante el uso de la hidrología, hidráulica y la ingeniería de riego, a partir de herramientas computacionales que faciliten el cálculo y permitan establecer un modelo funcional de la red. De modo que se requiere de la obtención de datos y el manejo de los mismos para generar la propuesta de diseño de una red de riego.

Finalmente, el procedimiento descrito, tiene como alcance, la elaboración de un modelo hidráulico mediante la herramienta computacional Bentley-WaterCAD, la cual permite establecer el diseño de una red, y la definición de parámetros de verificación de la misma (presión, velocidad) para así obtener un modelo que se implemente en el campo.

1.2. Problema de Estudio

Las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, campus sur presenta una particularidad asociada a la existencia de ojos de agua bajo la edificación “Bloque G” donde se muestra niveles freáticos variables en sus cimientos como lo describe Rosero (2021). Esto según detalla el mismo autor en su análisis Geotécnico, produce deformaciones debido a asentamientos diferenciales en la edificación, por lo que, en solución, se decide establecer un sistema de drenaje hacia cárcamos ubicados en los subsuelos del edificio, para posteriormente bombear hacia el sistema de alcantarillado público.

El funcionamiento de la estructura, se basa principalmente en drenar los ojos de agua hacia cárcamos donde existe una bomba que extrae por tuberías el agua subterránea y la transporta al sistema de alcantarillado, como se indica en la figura 1.

Figura 1

Sistema de Drenaje y Bombeo



Nota. Fotografías de cárcamo, sistema de bombeo y descarga para la extracción de los caudales subterráneos. Elaborado por: El autor.

El sistema de drenaje, almacenamiento y conducción, da evidencia de la solución a los efectos estructurales por la presencia de ojos de agua, no obstante, se considera que, tras un análisis visual, el recurso hídrico es de uso óptimo. Así mismo Pilco (2023) detalla la formación de agua carbonatada cálcica y magnésica, la cual es idónea para el riego, de modo que refuerza la propuesta del uso de los ojos de agua para proyectos de aprovechamiento de caudales subterráneos como parte del cumplimiento de objetivos asociados a la sostenibilidad planteados en la institución.

1.3. Importancia y Alcance

El plantel académico, en el marco de la gestión ambiental y sostenibilidad, establece en el Libro Blanco de la Sostenibilidad y Gestión Ambiental Universitaria, que la institución en la sede Quito - campus sur, requiere una solución del desaprovechamiento de los ojos de agua, de modo que plantea cubrir dicho objetivo mediante algún proyecto sin especificación (Cárdenas, Pesántez, Calle, Arévalo, & Serrano, 2024). Por lo que la relevancia del proyecto, radica en dar una solución o una alternativa con la que la institución pueda cumplir con sus objetivos.

Así mismo, desde el enfoque sostenible, el presente proyecto prioriza los efectos ambientales que atravesó el Ecuador durante el año 2024, donde Loaiza (2024) hace mención de los efectos de las fuertes sequías que desencadenaron la crisis energética y de abastecimiento, de modo que la importancia del aprovechamiento hídrico busca reducir el consumo general del sistema de agua potable, para dar uso de recursos adicionales existentes en el establecimiento.

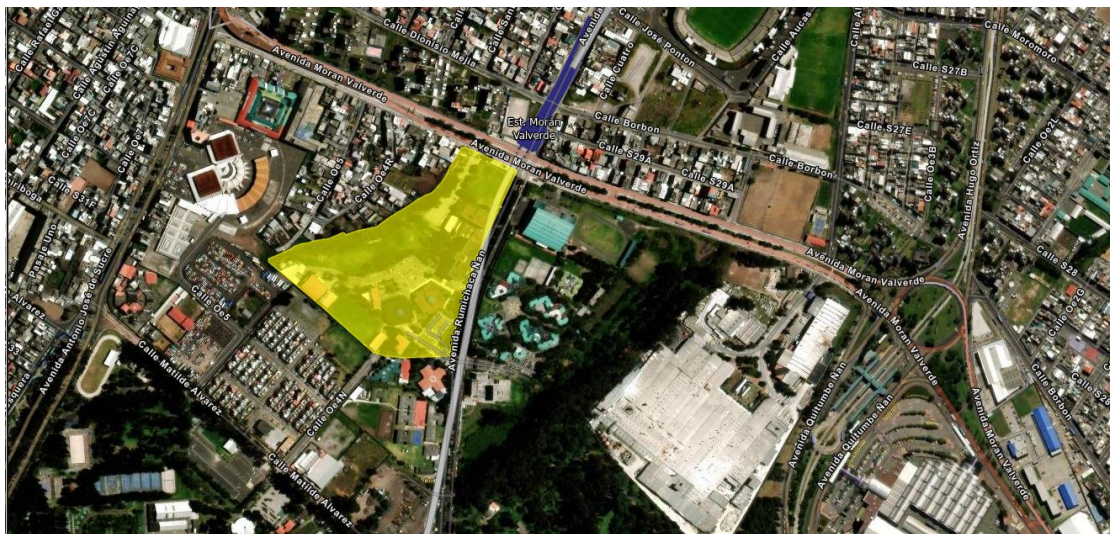
Es así que el alcance del proyecto, se sustenta en la propuesta inicial que plantea Pilco (2023), donde se da solución por medio de un sistema de riego implementado en la cancha cercana al Bloque G. De manera que, el presente proyecto amplía la idea por completo para más espacios como las jardineras y canchas del complejo universitario sur.

1.4. Delimitaciones

El proyecto técnico se desarrollará en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito campus Sur, la cual está delimitada en el polígono de la figura 2 y se ubica en la parroquia Quitumbe entre las calles Av. Moran Valverde y Rumichaca Ñan

Figura 2

Identificación Satelital Campus Sur



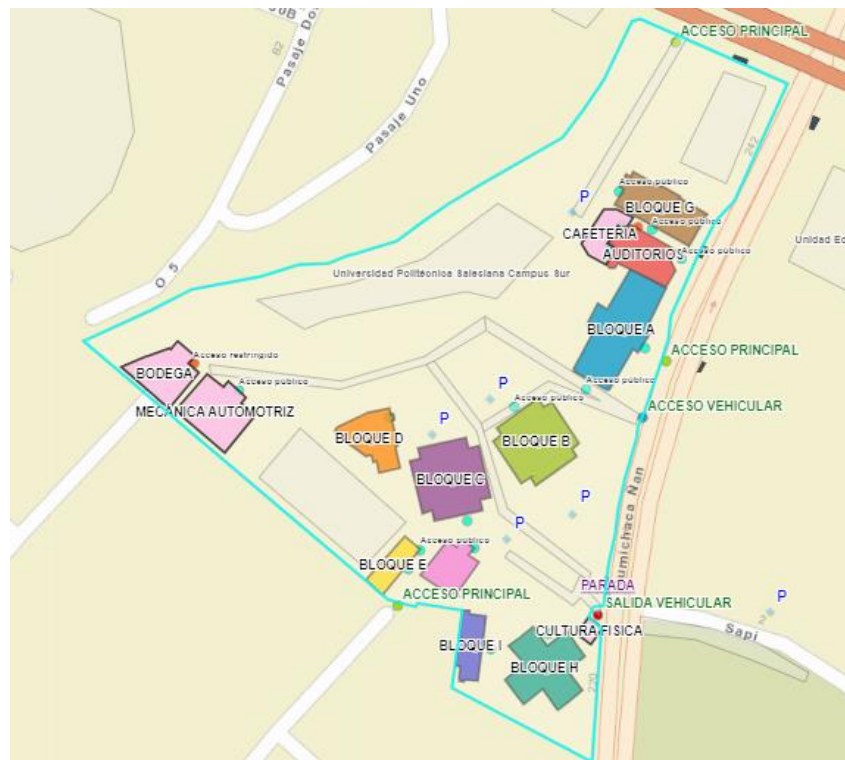
Nota. El campus se halla delimitado con color amarillo. Fuente: Geovisor Mapa Predial DMQ.

La universidad se compone de edificaciones para las labores académicas y espacios abiertos para el desarrollo de actividades al aire libre, de modo que se conforma de 12 bloques distribuidos en el predio, entre áreas académicas, laboratorios, iglesia, parqueaderos y auditorios que cubre un área total de 53867.542 m² como se muestra en la figura 3.

Respecto al proyecto, el punto de partida para el desarrollo del sistema de riego, se enfoca en la edificación Bloque G, la cual presenta en su interior dos tanques de almacenamiento de las aguas drenadas de los manantiales que se descargan al sistema de alcantarillado.

Figura 3

Edificaciones de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur



Nota. Límites y edificaciones de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur. Fuente: Smart Campus UPS.

En adición a la infraestructura, el campus sur de la universidad, posee jardineras y áreas recreativas (canchas de fútbol), donde es indispensable el mantenimiento. Dichas zonas se identifican en la figura 4 con color verde,

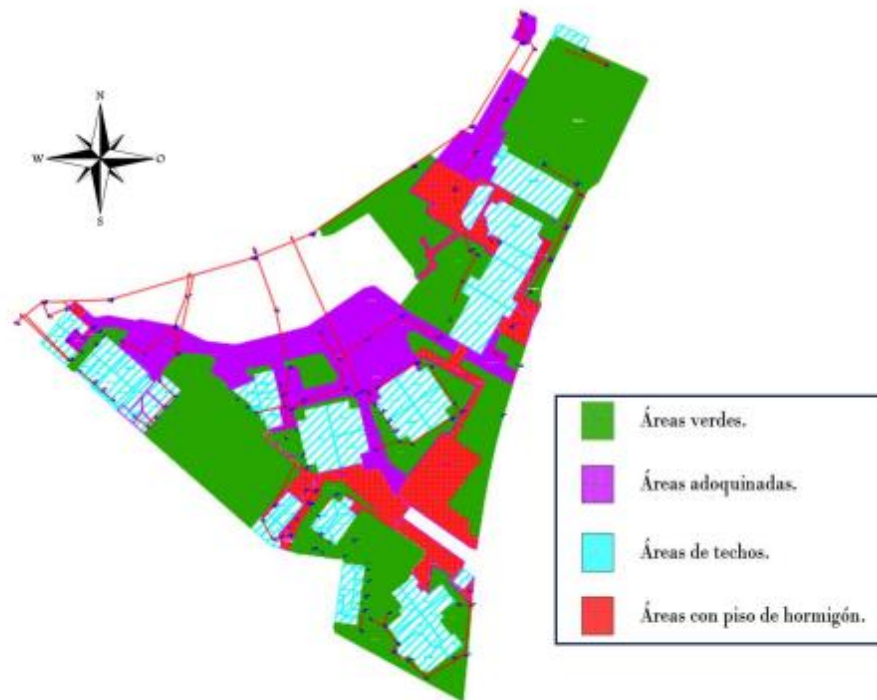
Las áreas verdes de la figura 4, están asociadas a 3 tipos de cultivos, distribuidos visualmente por un 85% de pasto que cubre todos los espacios de jardineras, un 10% de árboles y arbustos que rodean los límites de la cobertura vegetal y un 5% de cultivo ornamental ubicado en las zonas centrales. Por otro lado, en las canchas existe predominancia absoluta de césped, con un pequeño porcentaje de árboles en la zona cercana al bloque G, cubriendo un área total de 10657.661 m² para riego.

La misma figura delimita la zonas adoquinadas y hormigonadas, siendo pasos y accesos a parqueaderos coloreadas de color morado y rojo respectivamente y finalmente, los predios

internos de infraestructura, referentes a las aulas y laboratorios de desarrollo académico, limitadas de color azul.

Figura 4

Delimitación de las Áreas del Campus Sur



Nota. Representación de los espacios que conforman el campus sur. Fuente: (Lozano 2025)

1.5. Justificación

El campus sur de la universidad, en su extensión, presenta varios espacios verdes, los cuales requieren de un cuidado periódico realizado por el personal de mantenimiento de las instalaciones, entre sus labores está la poda y riego de los espacios, ya que los mismos son áreas arquitectónicas que embellecen las instalaciones. Por ello se requiere de un vasto consumo que proviene de la red pública de agua potable para cumplir con estas funciones.

Así mismo si se recurre a la publicación del Libro Blanco, los consumos de agua del campus sur en volumen son sumamente elevados, a lo que se asocian las labores de riego (Cárdenas, Pesántez, Calle, Arévalo, & Serrano, 2024). Debido a ello, el aprovechamiento de una vertiente que podría ayudar a las labores de mantenimiento de las áreas naturales, es

beneficiosa ya que permite la reducción del consumo de la red pública, además, cabe considerar que el riego manual, genera pérdidas por efecto de la mano humana y los periodos extendidos de riego innecesario. Por lo que un método de irrigación daría solución y permitiría priorizar el consumo de agua potable para el sistema hidrosanitario.

Por último, si se revisa el libro Blanco, dar solución mediante alternativas de uso del ojo de agua, da paso a cumplir con los objetivos planteados dentro de los requerimientos de la universidad para transformarse en un entorno sostenible y que administrar los recursos para contribuir al medio ambiente (Cárdenas, Pesántez, Calle, Arévalo, & Serrano, 2024).

1.6. Grupo Beneficiario

La propuesta se enfoca en la comunidad educativa de la Universidad Politécnica Salesiana, ya que un proyecto así, busca mejorar las condiciones del entorno en donde se desarrollan las actividades académicas y direccionar el cumplimiento de la sostenibilidad en el entorno universitario.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de almacenamiento y riego sostenible por medio del modelado en el software WaterCAD para el aprovechamiento del ojo de agua proveniente del Bloque G.

1.7.2. Objetivos Específicos

Medir los niveles de agua del cárcamo mediante un diver para calcular los caudales de descarga que se entregará al sistema de riego y almacenamiento

Analizar la demanda de riego, mediante la evaluación hidrológica de la precipitación, para determinar los periodos de irrigación durante el año.

Modelar el sistema de riego a través del software WaterCAD, para planificar alternativas de diseño.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Sistemas de Riego

Se explica como sistema de riego al mecanismo que permite realizar el esparcimiento de agua a través de los cultivos de manera homogénea mediante accesorios y estructuras conjuntas que garantizan el alcance de agua adecuada en todo el campo o área de intervención (Pilco 2023).

El riego, puede definirse también como la implementación equitativa de agua en diversos espacios de suelo, a fin de reponer el recurso hídrico consumido por los cultivos existentes en la superficie regada (Gurovich,1985).

Para la conformación de un sistema, se necesita de un conjunto de elementos, accesorios e infraestructuras que, al estar combinados, permitan la captación de agua y posterior distribución para suministrar adecuadamente el agua necesaria para la agricultura o el mantenimiento de los espacios (Criollo, 2021).

Adicionalmente, Criollo (2021) agrega que, para la implementación de sistemas de riego, se requiere consideraciones como el análisis del recurso hídrico, la infraestructura hidráulica, los espacios y por ende las áreas de riego sobre el cultivo que se desarrolle.

2.1.1. Tipos de Sistemas de Riego

Según establece Berlijn (2006), existen varias maneras para la distribución de agua en terrenos, entre las cuales se presentan riegos por inundación, surcos, aspersión o goteo. Estos métodos de riego, se implementan en función de las necesidades a solventar.

El riego por inundación está basado en repartir el agua con ayuda de la gravedad en el área de riego que se encuentra delimitada por diques, de modo que se produzca un charco que ahogue el cultivo hasta cierto nivel y permita la infiltración en el suelo (Berlijn, 2006).

Respecto al Riego por surcos se entrega el flujo por efecto de la gravedad, mediante canales de tierra que permiten la infiltración del agua hacia los cultivos (Berlijn, 2006).

El riego por Goteo se fundamenta en aplicar de manera local el agua en un sistema ramificado o interconectado que se encuentra elevado a fin de suministrar el agua hacia el cultivo de manera independiente (Berlijn,2006).

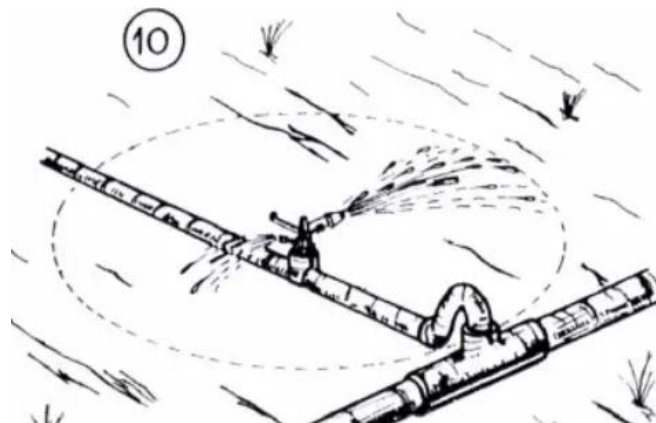
Finalmente, el riego por aspersión supone la distribución del agua por un efecto similar al de la lluvia, de modo que requiere de equipamiento, accesorios y sistemas para bombeo a fin de alcanzar presiones requeridas para los aspersores, está a diferencia de los otros sistemas es independiente a la gravedad a pesar que la misma incrementa o disminuye su gradiente hidráulico (Berlijn,2006).

2.1.2. Riego por Aspersión

Debido a que el método de riego seleccionado para el proyecto técnico es por aspersión, se requiere mayor profundización sobre este tipo de sistema, el cual indica Cadena (2016) consiste en repartir el agua hacia el cultivo con la inclusión de aire que permita la formación de un efecto lluvia mediante la inclusión de una boquilla giratoria que genera un chorro a presión, como indica el funcionamiento en la figura 5.

Figura 5

Funcionamiento del Riego por Aspersión



Nota. Unión de aspersor a tubería para riego de cultivos. Fuente: Riego y Drenaje (2006, p. 37)

Para este tipo de riego, la mayoría de suelos se adaptan, a excepción de zonas con elevada temperatura o velocidades de viento extremas, sin embargo, este sistema es empleado en gran medida en el Ecuador, específicamente en la región Sierra ya que permite el aprovechamiento de las cotas elevadas entre la fuente y la zona de cultivo, logrando así generar la presión requerida (Cadena, 2016).

Entre la diversidad de aspersores, el mecanismo de mayor eficiencia supone el de movimientos rotatorios, el cual permite un riego con ángulo de giro de entre 0° y 360°, permitiendo así que se modifique el área regable en función de un radio de trabajo del aspersor (Rodríguez, y otros).

2.2. Recurso Hídrico

El recurso hídrico, supone la determinación de agua que se tiene para el riego, ya que contribuye a la estimación de demanda que requiere un sistema, para ello se establece de manera inicial la definición de un caudal que permita realizar el diseño.

2.2.1. Caudal

En términos generales el caudal es la relación entre unidad de volumen por unidad de tiempo como se indica en la ecuación 1 (Carrazón, 2007).

$$Q = \frac{V}{t} \left[\frac{\text{Longitud}^3}{\text{tiempo}} \right] \quad (\text{Ec. 1})$$

Siendo V el volumen en unidades de litros (L) o en metros cúbicos (m³), t el tiempo en segundos (s) y Q el caudal en unidades de volumen por tiempo (L/s) o (m³/s).

2.2.2. Determinación de Caudales

Supone la medición de corrientes de agua provenientes de ríos, quebradas, acequias y demás, que permitan determinar el flujo existente y establecer su uso en proyectos hidráulicos para el abastecimiento y distribución de agua. Para ello se recurren a varias metodologías, en

función de las características del sitio de medición, no obstante, todos se sustentan en la ecuación de continuidad donde un caudal que ingresa es igual al de salida. Entre los métodos se pueden implementar el volumétrico, tubo Venturi, uso de químicos, a través de tuberías, entre otros (Legarda & Ruiz, 2000).

2.2.3. Fuentes de Agua

2.2.3.1. Quebradas

Supone una fuente superficial de posible uso para el riego, siempre y cuando el flujo sea permanente, este tipo de superficies permiten el paso de un cauce formado naturalmente en las zonas de valles estrechos (Carrazón, 2007).

2.2.3.2. Ojos de Agua

Franco y Rodríguez (2016) establecen que los manantiales u ojos de agua se forman a partir de lagos, quebradas, arroyos o ríos que conectan a zonas freáticas confinadas con un flujo permanente durante el año.

2.2.3.3. Pozos

Los pozos se clasifican en dos grupos, entre los que se encuentran los pozos superficiales, que se origina a distancias de dos metros desde la base con una altura de agua de hasta 1.5 metros, por otro lado, los pozos de tipo profundo superan esos rangos, de modo que, en caso de extracción, requieren del uso de sistemas de bombeo centrífugos (Carrazón, 2007).

2.2.4. Aguas Subterráneas

Las aguas subterráneas se originan de la percolación de aguas superficiales a través de los poros que por efecto de gravedad saturan el suelo. Provenientes de las aguas superficiales, se ubican entre los poros y grietas, generando un volumen acumulado durante cierto tiempo en las capas de tierra produciendo acuíferos (Pilco, 2023).

2.2.4.1.Caudales Subterráneos

En función de las aguas subterráneas, este caudal, se define como una masa de fluido con determinado volumen que atraviesa una superficie en cierto periodo de tiempo, que proviene de la infiltración, ubicándose en zonas bajo la superficie (Pilco, 2023).

2.2.5. Métodos de Aforamiento

Para el correspondiente diseño de sistemas de riego, es requerido el desarrollo de campañas de aforo que permitan establecer datos para el cálculo de los caudales con los que se puede abastecer a la red. Por ello, a continuación, se describen algunos métodos convencionales de medición.

2.2.5.1.Aforo por Tubo Venturi

Mediante el uso de un estrechamiento en un tubo, utiliza la ecuación de Bernoulli para determinar los caudales, donde se establece el área de la sección transversal del tubo y la velocidad media del agua que pasa por dicho tubo (Legarda & Ruiz, 2000).

2.2.5.2.Aforo por Colorantes

Este método se encarga de cuantificar la velocidad con la que atraviesa un colorante en el agua a través de un conducto, misma que se inyecta en la sección inicial del tubo que mide aproximadamente entre 10 y 20 metros, para así aplicar la ecuación 2:

(Legarda & Ruiz, 2000)

$$Q = A \times v \quad (Ec. 2)$$

Donde, la formula representa el área por velocidad.

2.2.5.3.Aforo por Caída Libre

El método de las coordenadas, considera el movimiento de las partículas como parabólico al salir de la sección. Este método trabaja con la componente X como la velocidad aplicada para determinado tiempo, para aplicarla en la ecuación 3 (Legarda & Ruiz, 2000).

$$Q = \frac{\sqrt{g \times X^2}}{2Y} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde X será la distancia horizontal, Y la vertical y g la aceleración de gravedad.

2.2.5.4. Aforo por Molinete

Este método requiere de la implementación de un instrumento que mide la velocidad de la corriente en secciones grandes (Legarda & Ruiz, 2000).

2.2.5.5. Aforo por Flotador

Contrario al método del molinete, este se implementa en zonas de áreas pequeñas de medición, de modo que con ayuda de un flotador se calcula la velocidad apoyado de la distancia que recorre en el conducto (Legarda & Ruiz, 2000).

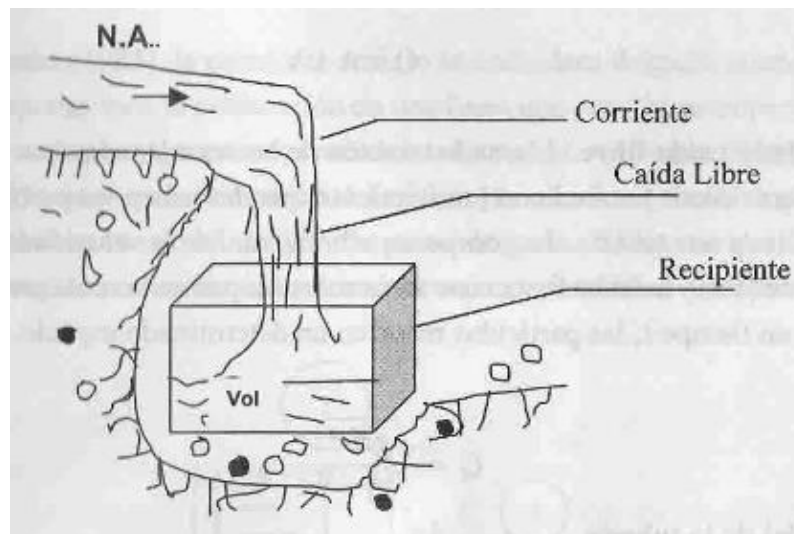
2.2.5.6. Aforo Volumétrico

El aforo por método volumétrico, resulta en un método sencillo para la determinación de caudales, que se basa en el paso de la corriente por un recipiente o tanque con volumen conocido que contiene el fluido durante determinado tiempo, de modo que se relacione el volumen con el tiempo de captación (Legarda & Ruiz, 2000). Para su cálculo se utiliza la ecuación 1 mostrada anteriormente como fórmula general para determinación de caudales.

Dicha ecuación, esta asocia la existencia de determinado volumen que atraviesa hacia un punto en un tiempo establecido, de modo que, si se representa esto, la metodología a seguir se ilustra en la figura 6.

Figura 6

Método Volumétrico



Nota. Representación de metodología aplicada para la estimación de caudales al estimar un volumen en determinado tiempo. Fuente: Medición de Corrientes de Agua con Fines de Ingeniería de Regadíos (2000, p. 351).

En concordancia con el presente proyecto, para la determinación de los caudales, se requiere la aplicación de este método, ya que el ojo de agua drena hacia un cárcamo el cual es posible obtener su volumen durante determinados periodos de tiempo, dado a que este bombea cada determinado tiempo el flujo, lo que permitirá obtener el caudal con el cual se trabajar. Sin embargo, para hacer posible la determinación del volumen que maneja el tanque, se requiere conocer los niveles que varían en función del tiempo en el cárcamo, para lo cual se implementan instrumentos de medición como Diver.

2.2.6. *Diver Odyssey Data Logger*

El instrumento, se encarga de la medición de los niveles de agua de un tanque, de modo que permite almacenar la información de alturas de agua en su interior, para su posterior liberación en un aplicativo que extrae los registros, misma herramienta de medición indicada en la figura 7.

Figura 7

Dispositivo de Medición



Nota. El registrador se ubica en la carcasa azul mientras que el sensor se extiende por el cable y termina en el contrapeso de color dorado. Fuente: TECHNICAL HANDBOOK FOR ODYSSEY DATA LOGGER (2012, p. 8)

El principio de funcionamiento se basa en el uso de un sensor capacitivo, que consiste en un cable conectado a dos conductores internos forrados con refilón, el sistema sensorial al entra en contacto con un fluido, da lecturas de los niveles hacia un mecanismo de recolección y almacenamiento ubicado en la carcasa la cual posee una memoria interna que permite registrar las mediciones para su posterior extracción por medio de computadoras (DATAFLOW SYSTEMS, 2012).

2.3. Generalidades de Diseño de un Sistema de Riego

Autores como Carrazón (2007) y Criollo (2021) establecen esquemas que comprenden dos componentes principales de diseño, un agronómico y uno hidráulico, que determinan un proyecto de irrigación. Respecto al diseño agronómico, se fundamenta en la determinación de factores como clima, cultivo y suelo que permitan establecer los requerimientos de riego. En cuanto a lo hidráulico, se establecen pautas de diseño para dimensionar las líneas de conducción, las cuales se asocian a la determinación de diámetros, presiones, velocidades y la posible implementación de sistemas de bombeo para elevar la presión en el sistema.

2.4. Diseño Agronómico

Según indica Cárdenas (2016), el diseño agronómico cobra importancia debido a que en un cultivo se requiere cumplir con ciertas cantidades asociadas al porcentaje de agua que se aplica en la siembra para un adecuado desarrollo.

2.4.1. Relación Suelo-Agua

El agua y el suelo constituyen su enlace a través del agua y las soluciones generadas por el suelo al estar en contacto con alguna de las fases cíclicas del agua siendo estas líquida (lluvia), sólidas (granizo o nieve) y gaseosa (humedad), las cuales se infiltran en las capas del suelo (Cadena, 2016).

Esta relación es fundamental, dado a que la influencia del agua en el suelo, interviene en la fertilidad que puede generar el suelo para los cultivos, los cuales requieren de nutrientes para el desarrollo de las plantas (Cadenas, 2016).

2.4.2. Cualidades Físicas del Suelo

2.4.2.1. Textura

Se define como las cantidades existentes de limo, arena y arcilla en el suelo, lo que permite clasificar el suelo en función de los diámetros de la partícula, de modo que se establece la siguiente clasificación:

Tabla 1

Tamaños de Partículas

Partícula	Diámetro de partícula (mm)
Arena	2 - 0.02
Limo	0.02 – 0.002
Arcilla	> 0.002

Nota. Tamaño de partículas. Elaborado por el autor con información de (Cadenas, 2016).

2.4.2.2. Estructura

La estructura es la capacidad con la que el suelo puede formar bloques de gran tamaño al mezclarse con material cementante (materia orgánica), Esta característica influye directamente en el desarrollo del cultivo, es decir, se asocia a los poros de modo que permite establecer si hay una adecuada absorción de agua hacia la planta o hacia el suelo (Cárdenas, 2016).

2.4.2.3. Porosidad

Guayasamín y Riofrio (2020), establecen a la porosidad como una porción de suelo con presencia de espacios vacíos que pueden ser llenados por agua, en función de ello, los autores establecen el porcentaje de humedad para cada tipo de suelo (ver tabla 2).

Tabla 2

Porcentaje de Porosidad por Suelo

Tipo de Suelo			
%	Arcilloso	Franco	Arenoso
	65	50	30

Nota. Información basada de HABLEMOS DE RIEGO (Cadena, 2016) Fuente: Guayasamín y Riofrio (2020).

2.4.2.4. Profundidad

Es la relación del espesor del suelo con la profundidad, donde si existe el suficiente espacio, las raíces tienen mayor desarrollo y por tanto una mejor absorción de agua debido a la firmeza de la raíz. La cual se clasifica en función del tipo de cultivo (ver tabla 3) (Cadena, 2016).

Tabla 3

Profundidad Radicular de Cultivos

Cultivo	Profundidad (m)
Alverja	0.5 -0.9
Avena	0.6 -1.1
Cebada	0.6-1.0
Caña de Azúcar	1.0-1.2
Girasol	0.9-1.8
Palmera	0.7-0.9
Pasto	0.6-1.0
Sorgo	0.6-0.9

Nota. Tabla de profundidad radicular. Elaborado por: El autor con información tomada de HABLEMOS DE RIEGO (Cadena, 2016, p.28).

2.4.2.5.Topografía

Entre los requerimientos del cultivo, es indispensable el conocer la superficie en la que se desarrollara el sistema, en la cual se debe detallar la existencia de infraestructuras y las elevaciones que permitan establecer las pendientes máximas del trazado del sistema (Guayasamín y Riofrio, 2020).

2.4.2.6.Humedad del Suelo

La humedad del suelo es la capacidad de retención de agua para lograr reponer el porcentaje de agua que las plantas provenientes del suelo, mismas que se clasifican por su capacidad de almacenamiento (Cadena, 2016).

- **Saturación:** Ocurre cuando el contenido de humedad del suelo es alto debido al agua que llena los poros completamente, esto sucede por riego o lluvias (Cadena,2016).
- **Capacidad de Campo (Cc):** Por efecto contrario de la gravedad, es la cantidad almacenada en el suelo debido a dicha acción tras la fase de saturación, (Cadena, 2016). Para su determinación, se establece la fórmula de Peele:

$$Cc = 0.48Ac + 0.162L + 0.023Ar + 2.62 \quad (Ec. 4)$$

Donde:

Cc: Capacidad de Campo

Ac: Contenido de Arcilla porcentual

L: Contenido de limo porcentual

Ar: Contenido de arena porcentual

- **Punto de Marchitez (Pm):** Sucede cuando se da la máxima succión del cultivo, lo que establece un bajo contenido de humedad, lo que resulta en incapacidad de absorción, para su cálculo, se establece la ecuación 5 en función de la capacidad de campo Cc (Cadena,2016).

$$Pm = \frac{Cc}{1.84} \quad (Ec.5)$$

A partir de las ecuaciones anteriores, se puede establecer la reserva disponible y la lámina de agua del cultivo.

$$Reserva\ Disponible = (Cc - Pm) \times Prof.\ radical \quad (Ec.6)$$

$$L = \frac{Cc - Pm}{100} \times Da \times Prof.\ radical \quad (Ec.7)$$

Respecto a la densidad aparente (Da) y la profundidad radicular (Prof. radicular), estas se obtienen de tablas por tipo de cultivo y suelo, que permiten la estimación de las cualidades del suelo requeridas para diseñar lo agronómico como la velocidad de infiltración, densidad aparente, la capacidad de campo, siempre y cuando se considere el tipo de suelo a trabajar (Ver tabla 4).

Tabla 4*Promedios de Características Físicas por Textura*

Textura	Velocidad de Infiltración	Espacio Poroso	Densidad Aparente (Da)	Capacidad de Campo (Cc)	Punto de Marchitez (Pm)	Humedad de Peso Seco	Volumen Disponible	Capacidad de Retención
	mm/h	%	1	2-%	3-%	%4=2-3	%5=4x1	mm/m
Arenoso	50 (25 o más)	38 (32-42)	1.65 (1.55-1.80)	9 (6-4)	4 (2-6)	5 (4-6)	8 (6-10=)	80 (62-105)
Franco Arenoso	25 (13-40)	43 (40-47)	1.50 (1.40-1.60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	12 (9-15)	120 (84-160)
Franco	13 (7-20)	47 (40-47)	1.40 (1.35-1.50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	17 (14-20)	170 (165-210)
Franco Arcilloso	8 (2-15)	49 (47-51)	1.35 (1.30-1.40)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	19 (16-22)	190 (156-224)
Arcillo Limoso	2.5 (2-15)	51 (49-53)	1.30 (1.26-1.35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)	21 (18-23)	210 (175-243)
Arcilloso	0.5 (0.1-1)	53 (51-55)	1.25 (1.20-1.30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	23 (20-25)	23. (192-260)

Nota. Tabla de información referente a las características de suelo en función su clasificación. Elaborado por: El autor con información de Hablemos de Riego (Cadena) (2016, p. 45).

2.4.2.7.Factor de Agotamiento (f)

Valor porcentual que define la cantidad de agua existente entre las fases de humedad, tras realizar un riego o consumo de la planta, se expone a continuación la tabla 5 con los factores de agotamiento en función del cultivo (Guayasamín y Riofrio ,2020).

Tabla 5*Factor de Agotamiento por Cultivo*

Planta de Cultivo	Factor de Agotamiento
Cebolla	0.30
Maíz	0.40
Papa	0.40
Trigo	0.60
Pasto	0.30

Nota. Tabla de Factor de agotamiento en función de cada cultivo. Elaborado por: El autor con información de (Guayasamín y Riofrio, 2020, p.17).

2.4.2.8. Infiltración

Se define como el transporte del agua de la superficie del suelo a la parte baja del mismo, este transporte ocurre tras eventos de lluvia o riego, lo que permite determinar la absorción del agua a través de los poros (Cadena,2016).

Su cuantificación se da en función de la velocidad de infiltración, la cual asocia la lámina de agua que pasa por el suelo durante un periodo de tiempo, el conocer este parámetro que se enlaza con el tipo de suelo como indica la tabla 6, contribuye al riego, ya que permite la estimación del tiempo de riego (t_r) (Cadena, 2016).

Tabla 6*Velocidad de Infiltración por Suelo*

Suelo	Velocidad de Infiltración (mm/h)
Arenoso	>30
Arenoso franco	15-30
Franco arenoso	12-18
Franco	8-14
Franco limoso	6-10
Areno limoso	20-30
Limoso	10-20
Arcilloso limoso	5-8
Arcilloso	3-6

Nota. Velocidades de infiltración del suelo por tipología. Elaborado por: El autor con información de Hablemos de Riego (Cadena) (2016, p. 54).

2.4.3. Relación Agua – Suelo – Clima

La relación desde el punto de vista del riego, tiene importancia debido al movimiento que tendrá el agua en la planta y el suelo en consecuencia al efecto climático, de manera que permita establecer el riego óptimo al considerar el clima como un aporte de agua debido al efecto de la evaporación y la transpiración (Cadena, 2016).

2.4.3.1. Evaporación

Procedimiento influenciado por los rayos solares que intervienen en el ciclo del agua, provocando que el agua se escape hacia la atmosfera por la presencia de humedad en la vegetación y en el suelo que ayuda a liberar el agua en forma de vapor (Cadena, 2016).

2.4.3.2. Transpiración

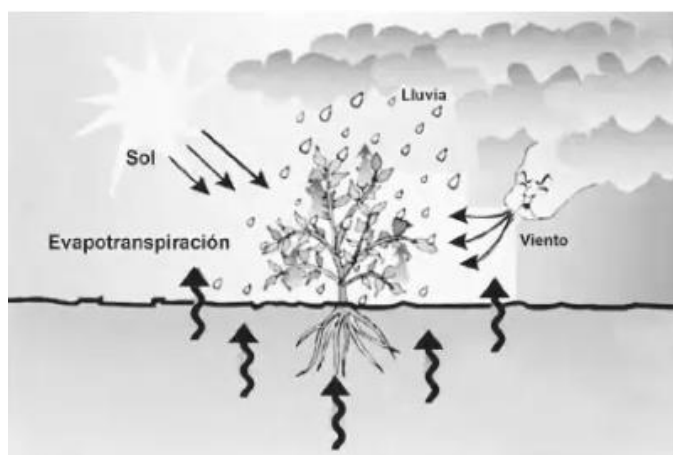
Mayormente asociadas a las plantas, las cuales son capaces de recolectar agua tanto del ambiente como del suelo para su posterior liberación a la atmosfera en forma de gases (Cadena, 2016).

2.4.3.3. Evapotranspiración

Asociada al requerimiento hídrico, es la cantidad de agua perdida debido a la evaporación y transpiración combinadas de manera dependiente una de la otra, ya que existe influencia entre las dos fases, es decir que la evaporación puede influenciar en la transpiración por la cobertura de cultivo (ver figura 8) (Cadena, 2016).

Figura 8

Proceso de Evapotranspiración



Nota. Proceso de transpiración y evaporación combinados por la relación planta y suelo.
Fuente: Hablemos de Riego (Cadena) (2016, p.64)

De este proceso, deriva la **Evapotranspiración Potencial (ETP)** que es la cantidad de agua máxima a evaporarse entre el suelo y la planta al presentarse condiciones de alta humedad y una cobertura vegetal completa (Guayasamín y Riofrio, 2020).

De la misma manera se considera la **Evapotranspiración Real (ETR)**. Que se define como la cantidad de agua evaporable de suelo y planta cuando las condiciones son regulares, refiriéndose a una humedad variante y una cobertura natural (Guayasamín y Riofrio, 2020).

2.4.3.4. Determinación de la Evapotranspiración Referencial de Cultivo (ET_o)

Es la evapotranspiración que sucede en una superficie teórica que actúa en condiciones naturales, se la conoce como de cultivo referencial debió a que responde a una superficie hipotética de pasto (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

La estimación de la evapotranspiración referencial, según la metodología establecida por la FAO, implementa la ecuación de Penman - Monteith, la cual aplica información meteorológica que se obtiene de estaciones con registros históricos de temperatura máxima, mínima, humedad, velocidad de viento e insolación (Guayasamín y Riofrio, 2020).

2.4.3.5.Ecuación de Penman - Monteith

A fin de establecer la evapotranspiración de referencia, la Fao implementa la ecuación 8 de Penman – Monteith.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (Ec.8)$$

Donde:

ETo: Evapotranspiración referencial de cultivo (mm/día)

Rn: Radiación neta (MJ/(m²dia))

G: Flujo de Calor (MJ/(m²dia))

T: Temperatura media (°C)

u2: Velocidad del viento (m/s)

es: Presión de vapor de saturación (KPa)

ea: Presión de Vapor (KPa)

Δ: Pendiente de la curva de la presión de vapor (KPa/°C)

γ: Constante Psicrométrica (KPa/°C)

Para la determinación de la evapotranspiración por la ecuación 8, en primer lugar, se necesita los datos de temperatura de aire, humedad, radiación y velocidad de viento, mismas que se obtienen de estaciones de medición meteorológica (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

Así mismo, según indica Allen, Pereira, Raes, & Smith (2006) se requiere de la estimación de otros parámetros que se aplican a la ecuación, los cuales se consiguen de la siguiente manera:

- **Radiación Neta (Rn):** Su estimación se realiza en función del dato meteorológico de insolación, lo que implica la determinación de la radiación neta de onda corta (Rns) y la de onda larga (Rnl), de manera que la diferencia de estas será la radiación neta:

$$Rn = Rns - Rnl \quad (Ec. 9)$$

- **Flujo de Calor (G):** Su estimación se realiza mediante la aplicación de los datos de temperatura mensual al emplear la ecuación 10.

$$G = 0.14 \times (Ti - T(i - 1)) \quad (Ec. 10)$$

Donde T_i es la temperatura media del mes actual y $T(i-1)$ es la temperatura media del mes anterior.

- **Presión de Vapor de Saturación (es):** Su determinación requiere del cálculo de la presión de saturación de vapor a temperatura ambiente (e_o), de modo que se aplica la ecuación 11.

$$es = \frac{e_o(Tmax) + e_o(Tmin)}{2} \quad (Ec. 11)$$

- **Presión de Vapor (ea):** De igual manera que la presión de saturación, se requiere de la temperatura media, la presión de vapor a temperatura ambiente y la humedad relativa que se utiliza en la ecuación 12:

$$ea = \frac{H}{100} \times e_o \times T \quad (Ec. 12)$$

Donde H es la humedad y T la temperatura media que se obtiene de los datos meteorológicos.

- **Pendiente de la Curva de la Presión de Vapor:** para su cálculo se aplica la ecuación 13 en función de la temperatura media:

$$\Delta = \frac{4098 \times [0.6108 \times \exp(\frac{17.27 \times T}{T + 237.3})]}{(T + 237.3)^2} \quad (Ec. 13)$$

Donde T es la temperatura media y exp es la base logarítmica natural (2.7183)

- **Constante Psicrométrica (γ):** $\gamma = 0.665 \times 10^{-3} \text{ (kPa } C^{\circ-1}\text{)}$

2.4.3.6. Coeficiente único de Cultivo (Kc)

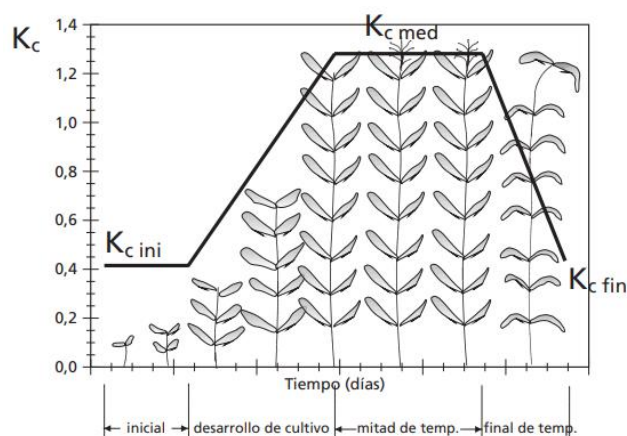
Según indica Guayasamín y Riofrio (2020) su obtención se basa en las características de las plantas y la variación que tiene la vegetación para la extracción de agua del suelo. No obstante, esta varía en función de la etapa en la que se ubique el cultivo, estas se dividen en cuatro como detalla Cadena (2016):

- **Fase Inicial:** Su duración va desde la germinación hasta la etapa inicial de desarrollo, donde se forman las primeras hojas, por lo que cubre un 10% de suelo.
- **Fase Desarrollo:** Ocurre al culminar la fase inicial de crecimiento y llega a cubrir un 80% de la superficie en la que esta plantada.
- **Fase de Medios:** Comprende el periodo desde el 80% de cobertura de superficie, hasta la etapa de maduración vegetal, de modo que tiene una cobertura que cubre casi toda la superficie.
- **Fase Final:** Supone la etapa de cosecha del cultivo.

Otra manera de visualizar la determinación del coeficiente de cultivo, se da en base a la curva de coeficiente de cultivo (ver figura 9).

Figura 9

Curva Generalizada de Coeficiente de Cultivo Kc



Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. (2006, p. 100)

Así mismo, Guayasamín y Riofrio (2020) establecen el coeficiente de cultivo en función de la vegetación (Ver Tabla 7):

Tabla 7

Coeficiente de Cultivo por Fase

Cultivo	Fases			
	Inicial	Desarrollo	Mediado	Final
Cebada	0.35	0.75	1.15	0.45
Cebolla	0.50	0.70	1	1
Papa	0.45	0.75	1.15	0.85
Trigo	0.35	0.75	1.15	0.45
Pasto	1	1	1	1

Nota. Valores de Kc determinadas según el cultivo y la fase que atraviesa. Elaborado por: El autor con información tomada de (Guayasamín y Riofrio, 2020, p. 23).

2.4.3.7. Cálculo de evapotranspiración de cultivo (ETcultivo)

El cálculo responde a una corrección de la evapotranspiración referencial de cultivo, de manera que, al provenir de fórmulas empíricas, requiere de una corrección en función del cultivo al que se le aplicara el riego, de modo que se aplica la ecuación 14 (Fuentes & García, 1999).

$$ET\ cultivo = ET_o \times Kc \quad (Ec. 14)$$

2.4.4. Planificación de Riego

Cadena (2016) establece que, para realizar un programa de riego, se deben contestar las siguientes preguntas:

- ¿Qué volumen de agua es indispensable para el riego?
- ¿Con que frecuencia se realiza los riegos?
- ¿Cuánto tiempo toma realizar los riegos?

Para dar respuesta, se debe considerar las necesidades del cultivo y la entrega de agua requerida para establecer la demanda, de modo que se depende de factores como la velocidad de infiltración o la evapotranspiración para determinar la cantidad, frecuencia y tiempo (Cadena, 2016).

2.4.4.1. Precipitación Efectiva (Pe)

El análisis de la precipitación efectiva, se asocia debido a que se puede interpretar la posibilidad de que la cantidad de agua de un cultivo pueda ser cubierta por la lluvia, en tal caso la aplicación de riego se descarta, no obstante, en la mayoría de casos se debe suministrar un riego debido a que los eventos de evapotranspiración intervienen en los cultivos, por lo que pueden afectar en la cantidad de agua que llega de manera directa a la planta (Guayasamín y Riofrio. 2020).

A pesar de que la metodología convencional de cálculo es el desarrollo de un balance hídrico, la FAO permite el cálculo aproximado al asumir que la precipitación efectiva, representa el 70% de la precipitación real como establece la ecuación 15 (Cadena, 2016).

$$Pe = \frac{70}{100} \times Pr \quad (Ec. 15)$$

Donde

Pe: Precipitación efectiva (mm/día)

Pr: Precipitación media que se obtiene de los registros meteorológicos mensuales (mm/día)

2.4.4.2.Demandas de Riego Neta y Total

La demanda neta, es la cantidad de agua requerida para cada cultivo, calculada a partir de la ecuación 16 (Cadena, 2016).

$$Dn = ET_{cultivo} - Pe \quad (Ec. 16)$$

Donde

Dn: Demanda neta de riego (mm/día)

ETc: Evapotranspiración de cultivo (mm/día)

Pe: Precipitación efectiva

Por su parte, la demanda total, se refiere a la cantidad de agua aplicada al cultivo al considerar las pérdidas generadas por los métodos de riego y se calcula con la ecuación 17 (Cadena,2016).

$$Dt = \frac{Dn}{Er} \quad (Ec. 17)$$

Donde

Dt: Demanda de riego total (mm/día)

Dn: Demanda de riego neta (mm/día)

Er: Eficiencia del método de riego (%)

2.4.4.3.Eficiencia del Método de Riego

Guayasamín y Riofrio (2020) describen la eficiencia como la relación entre los volúmenes de agua dispuesta en la planta y la distribuida en la zona de riego por el sistema, esta se determina con la ecuación 18.

$$Er = Ec \times Ed \times Ea \text{ (Ec. 18)}$$

Donde

Er: Eficiencia del método de riego (%)

Ec: Eficiencia de Conducción (%)

Ed: Eficiencia de Distribución (%)

Ea: Eficiencia de aplicación (%)

La determinación de las eficiencias de conducción, distribución y aplicación, requieren del establecimiento de caudales, siendo un trámite adicional a realizarse, por lo que, según establecen los autores Guayasamín y Riofrio (2002), se puede determinar la eficiencia del método de riego, a partir de tablas (ver tabla 8)

Tabla 8

Eficiencia de Riego por Método

Método de Riego	Eficiencia Er
Surcos	0.50-0.70
Fajas	0.60-0.75
Inundación	0.60-0.80
Inundación Permanente	0.30-0.40
Aspersión	0.65-0.85
Goteo	0.75-0.90

Nota. Determinación de eficiencia de riego por tipo de riego a realizarse. Elaborado por: El autor con la información de (Guayasamín y Riofrio, 2016, p. 33) basado en Hablemos de Riego (Cadena, 2016, p. 104)

2.4.4.4. Láminas de Riego neta y Total

La lámina de riego neta, se define como el déficit húmedo del suelo a cubrir de una planta, esta lámina actúa desde la zona de factor de agotamiento hasta la proximidad de la capacidad del campo y se define con la ecuación 19. (Guayasamín y Riofrio, 2016).

$$Ln = (Cc - Pm) \times Da \times Prof. \text{radicular} \times f \quad (\text{Ec. 19})$$

Donde

Ln: Lamina de riego neta (mm)

Cc: Capacidad de Campo (%)

Pm: Punto de marchitez (%)

Da: Densidad aparente (adim)

Prof. radicular: Profundidad radicular (m)

F: Factor de agotamiento (%)

Por su parte, la lámina de riego total es la cantidad de agua aplicada, la cual penetra de manera suficiente en el suelo hasta la zona radicular, para su determinación se emplea la ecuación 20 (Guayasamín y Riofrío, 2016).

$$Lt = \frac{Ln}{Er} \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde

Lt: Lamina de riego total. (mm)

Ln: Lamina de riego neta (mm)

Er: Eficiencia de método de riego (%)

2.4.4.5. Frecuencia de Riego

Pilco (2023) define a la frecuencia como el tiempo transcurrido entre aplicaciones de riego, es decir que establece un lapso de tiempo entre día de riego, el periodo de espera y el riego siguiente, para su determinación se emplea la ecuación 21.

$$Fr = \frac{Ln}{ET_{cultivo}} \quad (Ec. 21)$$

Donde

Fr: Frecuencia (día)

Ln: Lamina de riego neta (mm)

ETcultivo: Evapotranspiración de cultivo (mm/día)

2.4.4.6. Tiempo de Riego

Es el tiempo que demora la lámina de agua en infiltrar el suelo y se calcula mediante la ecuación 22 (Cadena, 2016).

$$Tr = \frac{Lt}{Vi} \quad (Ec. 22)$$

Donde

Tr: Tiempo de riego (horas)

Lt: Lamina de riego total (mm)

Vi: Velocidad de infiltración (mm/h)

2.4.4.7. Espaciamiento Máximo entre Aspersores

Criollo (2021) describe el espaciamiento como la distancia considerando el comportamiento pluviométrico radial de los aspersores, es decir que permite establecer un área de riego real y uniforme respecto a los marcos de riego.

Para ello, el autor establece la siguiente tabla que considera la velocidad de viento en la zona de aplicación, por lo que es indispensable conocer los datos meteorológicos. (ver tabla 9)

Tabla 9*Separación Máxima entre Aspersores*

Marco Geométrico	Velocidad Viento (m/s)	Separación
Cuadrado o Rectangular	Sin Viento	65%D
	2	60%D
	3.5	50%D
	>3.5	30%D
Triangular o Variable	Sin Viento	75%D
	2	70%D
	3.5	60%D
	>3.5	30%D

Nota. Espaciamiento de aspersores en función del marco de riego y la velocidad de viento.
Fuente: (Criollo, 2019, p. 71).

2.5. Diseño Hidráulico

El diseño hidráulico se sustenta principalmente en la implementación de los conceptos básicos de la hidráulica, de modo que esta sección se dedicara a la explicación de mencionados conceptos, y en cierta medida las consideraciones hidráulicas necesarias para el riego por aspersión.

2.5.1. Conceptos Básicos de Hidráulica para Riego

2.5.1.1. Ecuación de la Continuidad-

La ecuación de la continuidad, define el paso de un caudal en una tubería, es decir que hace mención que, si un fluido atraviesa una tubería de sección variante, el caudal se conserva. En síntesis, el caudal que ingresa, será igual al caudal que sale, manteniendo una constante (Carrazón, 2007).

$$Q = A_{s1} \times V_{s1} = A_{s2} \times V_{s2} \quad (Ec. 23)$$

Donde

Q: Caudal (m³/s o L/s)

A_{s1}: Área de ingreso al tubo

A_{s2}: Área de salida del tubo

Vs1: Velocidad media de ingreso

Vs2: Velocidad media de salida

Esta ecuación es útil, ya que permite identificar el caudal que pasa por las tuberías hacia los puntos de riego, de modo que el saber el caudal que pasa, podremos estimar la velocidad del fluido (Carrazón, 2007).

2.5.1.2.Hidrostática

Es el estudio de fluidos que se hallan estables, es decir que se analiza el comportamiento del agua cuando no hay circulación de flujo en un sistema. (Carrazón, 2007).

La presencia de fluido, a pesar de encontrarse equilibrio, genera fuerza a la que se denomina presión, misma que si se encuentra confinada en una tubería, seguiría permaneciendo y se mediría en función de Pascales o metros de columna de agua comúnmente, de modo que se representa como una altura de presión que actúa en función de la elevación que se encuentre el fluido, la cual al estar en reposo se le conoce como presión estática (Carrazón, 2007).

2.5.1.3.Hidrodinámica

Contrario al efecto estático de la hidrostática, la hidrodinámica considera al flujo en movimiento, de modo que se genera variaciones, lo que a su vez se ve representado con una línea imaginaria que representa los cambios de presión a la que se denomina línea piezométrica o de gradiente hidráulico (LGH), si se analiza en tuberías, las variaciones de diámetro, velocidades o caudal generan efectos en esta línea, que se traduce en presión hidrodinámica. En síntesis, el paso de estado de equilibrio a movimiento, permite la consideración de las pérdidas lo que produce una reducción en la línea de gradiente hidráulico. (Carrazón, 2007)

2.5.1.4.Fricción y Turbulencia

Según Carrazón (2007) las propiedades toman importancia dado a que el movimiento turbulento del agua en las tuberías genera contacto y fricción con las paredes, lo que a su vez

se traduce como pérdida de energía por fricción, de modo que influye en la disminución de presión. Dichas pérdidas dependen de las siguientes características:

- La velocidad media interviene ya que, si se aumenta la misma, existirá mayor fricción.
- La longitud, del mismo modo al ser mayor, genera mayor rozamiento y por ende pérdidas.
- El diámetro se asocia al rozamiento, de modo que si es muy pequeño habrá más fricción.
- El material de la tubería afecta en función de la rugosidad que está presente.

2.5.1.5. Pérdidas de Carga

Supone la acumulación de las pérdidas por fricción y las pérdidas locales, de modo que según indica Carrazón (2021).

- Las Pérdidas de Carga Continuas, son las que se provocan por efecto de la fricción en tuberías o mangueras.
- Las pérdidas Locales, son las provocadas por el paso del fluido por puntos específicos o singulares, cuantitativamente su valor es inferior a las pérdidas por fricción.

2.5.1.6. Número de Reynolds

Parámetro adimensional que este asociado a las características de un flujo, el número de Reynolds es la relación entre las fuerzas inerciales con las de fricción, para su determinación, se establece la ecuación 24 (Carrazón, 2007).

$$Re = \frac{4 \times Q}{\pi \times D \times v} \quad (Ec. 24)$$

Donde

Q: caudal (m³/s)

π; número pi=3.1416

D: Diámetro interno de tubería (m)

v: Velocidad cinemática del agua que es 1.01x10⁻⁶ a temperatura de 20°C

2.5.1.7. Ecuación de Darcy-Weisbach

La ecuación permite la estimación de las pérdidas por fricción mediante la ecuación 25 (Carrazón, 2007).

$$hf = \frac{f \times L \times Q^2}{12.1 \times D^5} \quad (Ec. 25)$$

Donde

Hf: Pérdidas de carga por fricción (m)

f: Factor de fricción (adimensional)

L: Longitud de tubería (m)

Q: Caudal (m³/s)

D: Diámetro interno de tubería (m)

Para la estimación del factor de fricción, es necesario establecer el número de Reynolds, de modo que:

- Si $Re < 2000$, se trata de un flujo en régimen laminar y por tanto el factor se calcula con la ecuación 26:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (Ec. 26)$$

- Si $Re > 2000$ se trata de un flujo en régimen turbulento y por tanto el factor se calcula con la ecuación 27:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \text{Log} \left(\frac{2.51}{Re \times \sqrt{f}} + \frac{k}{3.71 \times D} \right) \quad (Ec. 27)$$

Para la estimación del coeficiente de rugosidad k se deben recurrir a tablas que dependen del material de la tubería.

2.5.1.8. Ecuación de Hazen-Williams

De la misma manera, esta ecuación permite la estimación de las pérdidas, la cual se establece con la ecuación 28, (Carrazón, 2007).

$$hf = \frac{10.67}{c^{1.85} \times D^{4.87}} \times L \times Q^{1.85} \quad (Ec. 28)$$

La terminología expresada es la misma que la ecuación de Darcy-Weisbach, sin embargo, la diferencia se encuentra en el uso de un coeficiente C de Hazen Williams, el cual se puede establecer en tablas en función del material (ver tabla 10). (Carrazón, 2007)

Tabla 10

Coeficiente C de Hazen Williams

Material	Coeficiente C
PVC	150
PE	140
Hierro Galvanizado	100

Nota. Coeficientes de Hazen Williams para cada material. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de mini riego (Carrazón) (2007. p. 128).

Para la estimación del factor de fricción, se puede calcular mediante las ecuaciones, detalladas anteriormente.

2.5.1.9. Pérdidas Locales

Son aquellas pérdidas menores que se presentan por cuestiones singulares dentro de la línea de conducción, estas pérdidas se originan debido a cambios de dirección, aumentos o disminución de diámetros e inclusive la inclusión de válvulas, sin embargo, estas pérdidas suelen ser inferiores a las de fricción (Carrazón, 2007). Para su determinación se aplica la ecuación 29:

$$hl = k \times \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec. 29})$$

2.5.2. Consideraciones del Riego por Aspersión

Su fuerte lazo con la hidráulica se debe a que, al ser un sistema de conducción, la red de irrigación es un medio de subintiro de agua hacia los cultivos con una simulación de lluvia (Berlijn & Brouwer, 2006).

El armado del sistema consiste en la inclusión de bombas, mismas que transportan bajo una presión en las líneas de conducción, así mismo las líneas de conducción son las tuberías que pueden formar tramos principales y tramos secundarios que llevan el flujo hacia los aspersores (Berlijn & Brouwer, 2006).

2.5.2.1. Bombas para Riego

Las bombas contribuyen a la succión desde la fuente y así dar una determinada presión que llegue a los aspersores para su correcto funcionamiento, dado a que las mismas son operativas a una cierta presión establecida (Berlijn & Brouwer, 2006).

Para el diseño, la línea de succión debe ser corta y su altura no debe exceder más de los 7 metros, respecto a la línea de impulsión no hay requerimientos, considerando que están pueden exceder las alturas y longitudes, siempre y cuando la bomba tenga la suficiente potencia para el transporte (Berlijn & Brouwer, 2006).

2.5.2.2. Línea de Conducción

Las tuberías se clasifican en líneas principales y laterales, su diferencia principal se encuentra en los diámetros, tipo de conexiones y accesorios que tienen. Entre los componentes que tiene la línea de conducción, se pueden encontrar acoples rápidos, mismos que contribuyen a la conexión y desconexión fácil entre tuberías, también se hallan las conexiones del aspersor y las diferentes uniones tipo, reductoras de diámetro y los codos de 90° y 45° (Berlijn & Brouwer, 2006).

2.5.2.3. Aspersores

Son dispositivos que permiten la separación del flujo en gotas para su distribución en los cultivos y pueden cubrir rangos de 0° a 360°. Para su operación, requieren de cierta presión hidráulica, ya que la fuerza generada influye en el giro del aspersor (Berlijn & Brouwer, 2006).

(Berlijn & Brouwer, 2006), describen las características esenciales que se encuentra respecto a los aspersores, a pesar de la existencia de una gran variedad de marcas de aspersores, los aspectos generales a suplir en estos sistemas son:

- Las presiones operativas van desde 0.5 a 10 Kg/cm² (5 – 100 mca)
- Los caudales operativos usualmente se encuentran entre 0.6 – 10 L/s para aspersores de presión baja
- Diámetros de riego se encuentran desde 20 - 80 milímetros.

2.5.2.4. Efecto de la Presión

El funcionamiento de los sistemas de riego requiere de presiones que determinan los tamaños de las gotas, de modo que, si se tiene presiones altas, el tamaño de las gotas para el riego será considerable. Así mismo ocurre con el diámetro empleado en la conducción, si los diámetros son grandes, las gotas serán proporcionales (Berlijn & Brouwer, 2006).

2.6. Modelación Software WaterCAD

Propiedad de la empresa Bentley Systems Incorporated, el software se emplea para el análisis, modelación y control de sistemas de conducción a presión. El mismo permite ejecutar el diseño, desarrollo y funcionamiento de una infraestructura hidráulica asignada a una red de conducción. El programa permite simular los comportamientos del flujo a través de la modelación computacional desarrollada a partir de los elementos que esta permite utilizar como son tuberías, nodos, sistemas de almacenamiento, válvulas de presión y flujo y elementos de comportamiento híbrido (Huayra & Layme, 2018).

Para el cálculo, WaterCAD hace uso del método de la gradiente hidráulica para analizar redes. Misma que permite la revisión de presiones, velocidades, caudales y pérdidas en los nodos y las tuberías. El análisis se puede desarrollar en un escenario normal como en periodo extendido para poder analizar vulnerabilidad y protecciones del sistema (Huayra & Layme, 2018).

El programa permite tras la modelación, la gestión de datos, de manera que culminado el proceso el software mediante sus herramientas contribuye al desarrollo de escenarios, preparación de reportes y planos, además que la visualización de resultados se puede entregar por tablas, perfiles, gráficos (Huayra & Layme, 2018).

CAPÍTULO III

RECOPIACIÓN DE DATOS

3.1. Determinación de Niveles de Cárcamo

Para la estimación de los caudales que se pueden obtener de los cárcamos ubicados en las inmediaciones del Bloque G del campus sur de la universidad, se requiere conocer tanto las dimensiones de la sección transversal del cárcamo como los niveles de agua que este presenta.

Si se considera que el sistema realiza descargas o liberaciones cada determinado tiempo, se requiere conocer las variaciones de niveles que se obtienen, de modo que se pueda estimar el volumen que se logra obtener del tanque.

Si se establece el cálculo de caudales por método volumétrico, se requieren de los niveles, para lo cual se desarrolló una campaña de aforo con duración de un mes, donde se tomaron los niveles cada minuto para así determinar la variación real.

3.1.1. *Medición de Niveles de Agua*

Para la medición, se implementa un Diver, mismo que se encarga del registro automático de los datos con un tiempo asignado. El dispositivo Odyssey Data Logger (figura 7) se compone del equipo de registro ubicado en la carcasa, un cable sensor de 2.00 metros conectado a un contrapeso en la parte inferior del instrumento.

En primera instancia, se establece una campaña de aforamiento, en la que se registrara los niveles durante un mes con mediciones cada minuto. Para ello se le calibra el equipo con el Software y se procede a colocar el instrumento en el cárcamo como se muestra en la figura 10.

Figura 10

Instalación de Equipo de Medición



Nota. Instalación del Diver en el cárcamo para la medición de niveles de agua. Elaborado por: El autor.

Al completarse los 31 días de campaña de aforo, se procede a la extracción de los datos mediante el software, por lo que se retira el equipo del cárcamo y se conecta a una computadora para obtener el archivo en formato xlsx del registro de niveles, información que se puede visualizar en el anexo 1.

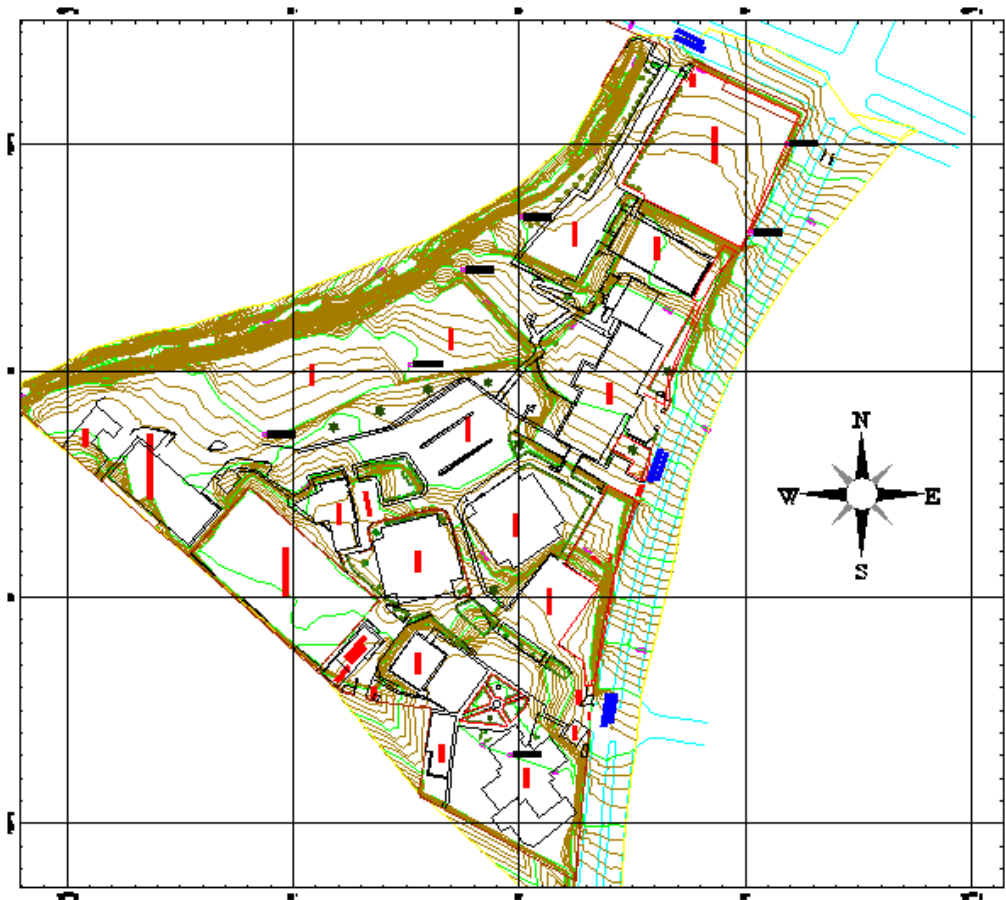
3.2. Información Topográfica

La topografía es indispensable para el diseño de un sistema de riego, dado que se requiere la superficie, infraestructuras y las elevaciones con las que se va a trabajar.

La información topográfica requerida es la del campus sur de la Universidad Politécnica Salesiana, la cual se entregó por la gestión documental de la universidad, misma que se visualiza en la figura 11 y se dispone del plano en el anexo 2.

Figura 11

Referencia Topográfica de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur



Nota. Levantamiento topográfico del campus sur. Fuente: Gestión Documental UPS.

3.3. Datos Meteorológicos

Los datos meteorológicos son importantes ya que con ellos se realiza el cálculo de la evapotranspiración y la precipitación efectiva para la planificación de riego de un sistema.

Para obtener la información meteorológica se recurre a los recursos publicados por el INAMHI, el cual posee tanto anuarios meteorológicos como hidrológicos de cada estación concesionada y que da cobertura a todo el país.

Los datos deben ser tomados de la zona más cercana al proyecto, de modo que el presente caso recurre a la estación meteorológica Izobamba M003, la cual cuenta con los registros meteorológicos requeridos desde el año 2008 hasta 2013.

La información de cada año se puede visualizar en el anexo 3, no obstante, en resumen, la media de los datos extraídos de la estación M003 se exponen en la tabla 11, donde se destaca la información de temperaturas, porcentaje de humedad, horas de sol al día, precipitación mensual y la velocidad de viento.

Tabla 11

Datos Meteorológicos Estación Izobamba

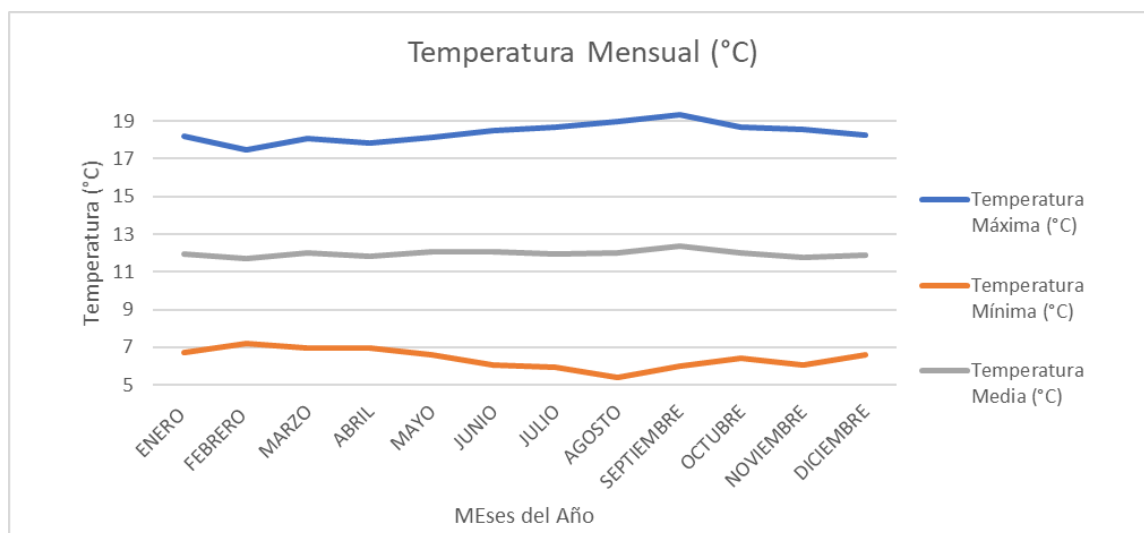
PROMEDIOS	TEMPERATURAS (°C)			HUMEDAD (%)	INSOLACIÓN (horas)	PRECIPITACIÓN (mm)	VELOCIDAD VIENTO	VELOCIDAD VIENTO
	MES	MÁXIMA	MÍNIMA				MENSUAL	(km/h)
ENERO	18.22	6.72	11.97	82	5	170.68	3.38	81
FEBRERO	17.48	7.20	11.68	86	4	202.82	2.77	66
MARZO	18.05	6.97	11.98	84	4	184.88	2.75	66
ABRIL	17.82	6.97	11.82	86	3	219.95	2.45	59
MAYO	18.13	6.62	12.05	83	5	144.18	2.65	64
JUNIO	18.50	6.05	12.08	78	5	56.98	3.58	86
JULIO	18.67	5.93	11.95	74	6	54.88	4.68	112
AGOSTO	19.00	5.42	12.00	73	6	53.07	4.85	116
SEPTIEMBRE	19.35	5.98	12.37	72	6	51.43	5.33	128
OCTUBRE	18.68	6.43	12.03	81	5	155.28	3.18	76
NOVIEMBRE	18.58	6.07	11.78	83	5	115.25	2.77	66
DICIEMBRE	18.27	6.63	11.87	84	5	152.62	2.88	69

Nota. Media de datos meteorológicos históricos de la estación meteorológica M003. Elaborado por: El autor

De manera visual, la información meteorológica permite establecer de mejor manera el comportamiento de las variables indicadas en la tabla 11, de modo que se represento los registro en las siguientes graficas.

Figura 12

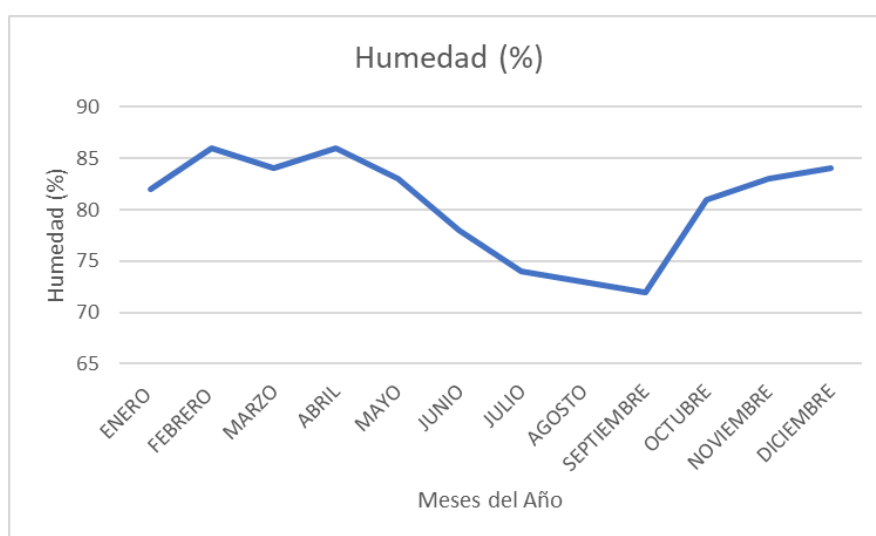
Gráfica Temperatura Mensual



Nota. Grafica de la variabilidad de la temperatura máxima, media y mínima mensual de la estación meteorológica M003. Elaborado por: El autor.

Figura 13

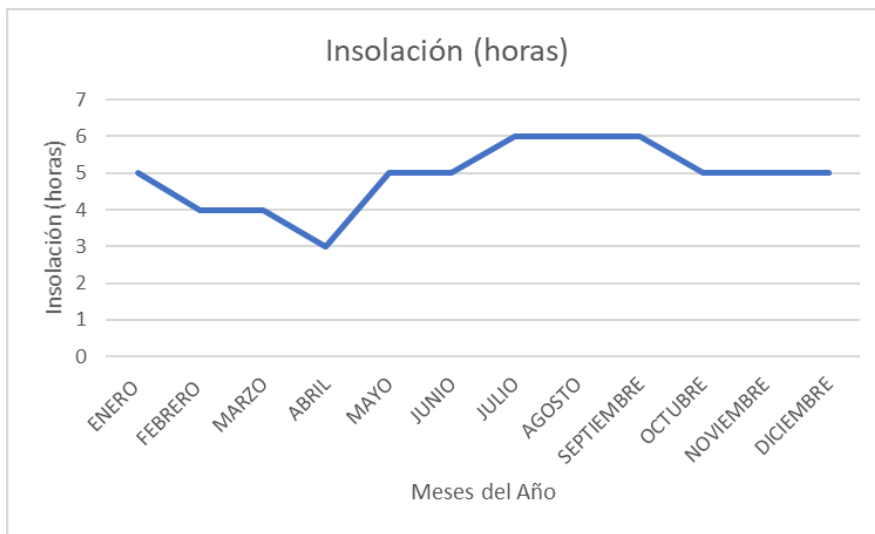
Grafica de Humedad



Nota. Grafica de la variabilidad de la humedad mensual en porcentaje de la estación meteorológica M003. Elaborado por: El autor.

Figura 14

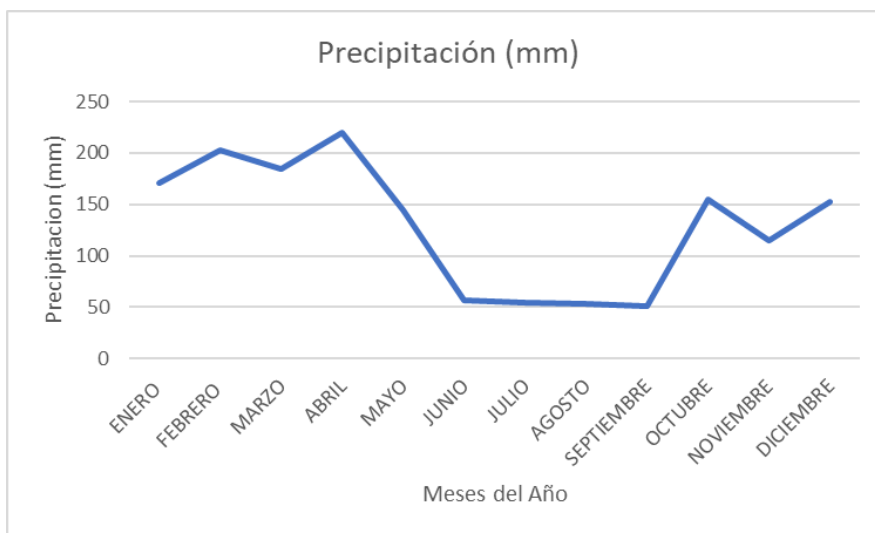
Datos de Insolación



Nota. Grafica de la variabilidad de la insolación mensual en horas de la estación meteorológica M003. Elaborado por: El autor.

Figura 15

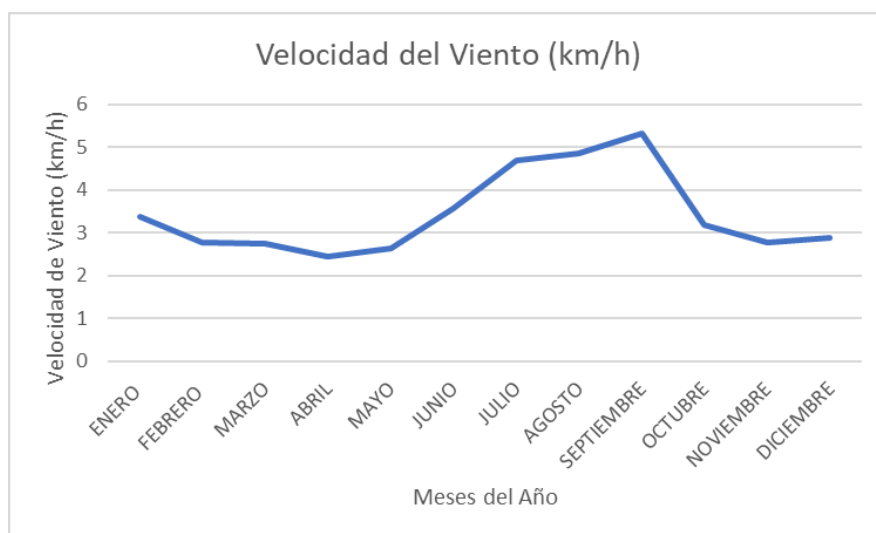
Datos de Precipitación



Nota. Grafica de la variabilidad de la precipitación mensual en milímetros de la estación meteorológica M003. Elaborado por: El autor.

Figura 16

Datos de Velocidad de Viento



Nota. Grafica de la variabilidad de la velocidad de viento mensual en kilómetros por hora de la estación meteorológica M003. Elaborado por: El autor.

Al analizar las gráficas con la información meteorológica de la estación Izobamba M003, se puede distinguir los dos regímenes que influyen en el país, de modo que entre los meses de mayo a noviembre se observa que las variables se asociaron al verano mientras que los meses de diciembre abril se relacionan al invierno.

Esto influye en las variables meteorológicas ya que, en la temporada seca, la temperatura, insolación, y velocidad de viento se elevan mientras que la precipitación y humedad disminuyen.

Por otro lado, en la temporada de lluvia las variables se invierten, al aumentar la precipitación y humedad, y disminuir la temperatura, insolación y velocidad de viento.

Los detalles del comportamiento de las variables meteorológicas influyen directamente, ya que, al tener dos regímenes climáticos marcados, es posible establecer la tendencia de crecimiento de la evapotranspiración y precipitación efectiva que se debe calcular.

CAPÍTULO IV

DETERMINACIÓN DE CAUDALES

4.1. Estimación Diferencia de Niveles

Con los registros de niveles que se obtiene de la campaña de aforo, se estima la altura de agua que se tiene cuando ingresa y se descarga el agua del cárcamo. De modo que con la ecuación 30 se estima la diferencia de niveles, la cual se establece en la Ilustración representativa del anexo 4.

$$\Delta niveles = N_j - N_i \quad (Ec. 30)$$

Donde

Δ Niveles: Altura de lámina de agua (m)

N_i : Nivel inicial (m)

N_j : Nivel final (m)

Mediante la formula establecida se procede al cálculo de la diferencia de niveles, mismo que se muestra en el anexo 1 en conjunto con el registro de niveles.

4.2. Determinación de Caudales

En base a la fórmula general planteada en la ecuación 2, para la determinación de caudales por método volumétrico, se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las dimensiones del cárcamo son de 4 metros de largo, por 2.4 metros de ancho y 3 metros de alto
- Se obtiene un caudal de ingreso, en el cual solo entra agua al cárcamo y se almacena, de modo que la ecuación 31 representa el volumen acumulado previo al bombeo.
- Por otro lado, se determina un caudal de salida, el cual representa la descarga al sistema de alcantarillado, no obstante, el manantial sigue pasando agua al cárcamo, lo

que en términos de la ecuación 32, representa el caudal descargado más el caudal que se mantiene ingresando a la cisterna.

$$Q_i = \frac{(N_j - N_i) \times A}{t} \quad (Ec. 31)$$

Donde

Q_i : Caudal de ingreso (m)

$(N_j - N_i)$: Diferencia de niveles (m)

A: Área de la sección transversal del cárcamo (m²)

t: Tiempo (s)

$$Q_s = \frac{(N_j - N_i) \times A}{t} + Q_{i\text{prom}} \quad (Ec. 32)$$

Donde

Q_s : Caudal de Salida

Q_i prom: Caudal de ingreso promedio (m)

$(N_j - N_i)$: Diferencia de niveles (m)

A: Área de la sección transversal del cárcamo (m²)

t: Tiempo (s)

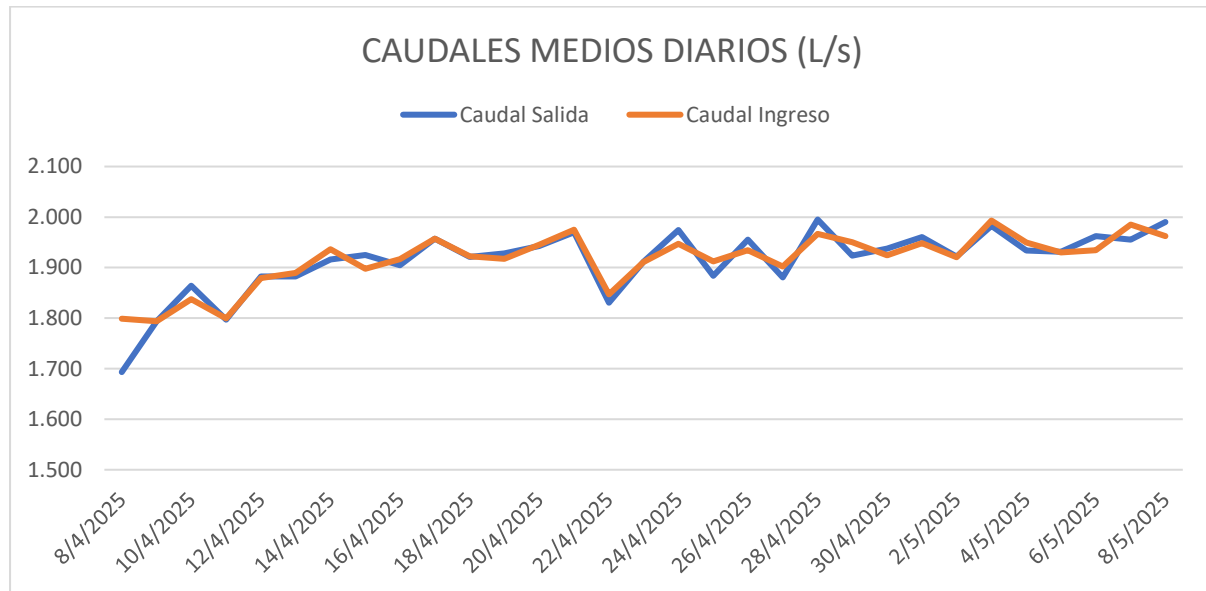
Como aclaración, el cálculo del caudal de ingreso promedio (Q_i prom) se obtiene a partir de los resultados de la ecuación 31, es decir se considera únicamente los últimos registros de caudales de ingreso previos a la salida por el sistema de bombeo, con los cuales se calcula un promedio.

Una vez establecidas las consideraciones y las ecuaciones, se procede al cálculo, en primer lugar, de las diferencias de nivel y después los caudales, de manera que de la campaña

de aforo donde se obtuvo un total de 43919 datos medidos cada minuto, se proceda a calcular caudales medios diarios, mismos que se calculan en el anexo 1 y se representan en la figura 17:

Figura 17

Caudales Medios Diarios



Nota. Grafica de los caudales medios diarios de ingreso y salida durante 31 días de medición. Elaborado por: El autor.

La gráfica representa los resultados de caudales medios diarios de ingreso (línea naranja) y salida (línea azul), analizados durante un mes en los que se obtuvo como media un caudal de 1.91 L/s para las dos series de datos.

Así mismo, se observa en la gráfica una leve tendencia positiva y variaciones mínimas en los dos caudales, lo que indica un flujo constante que se incrementa durante el tiempo de monitoreo de los niveles, esto se puede atribuir a las precipitaciones próximas ocurridas durante las mediciones.

Los resultados, permiten formular el diseño del sistema, asegurando que el caudal de 1.91 L/s se mantiene para los requerimientos del proyecto, en este caso el caudal mencionado será el que permita diseñar el sistema de bombeo para transportar el flujo al tanque de almacenamiento para riego.

CAPÍTULO V

DISEÑO DE PLAN DE RIEGO

5.1. Determinación de la Evapotranspiración Referencial y Precipitación Efectiva

Para la estimación de la evapotranspiración y precipitación efectiva, se implementa la herramienta computacional CROPTWAT 8.0 de la FAO, para el diseño de programación de riego en pasto, debido a que se trata del cultivo predominante en los espacios del proyecto.

5.1.1. Evapotranspiración Referencial

La estimación de la evapotranspiración referencial requiere de los datos meteorológicos mensuales de temperatura (mínima, máxima y media), humedad, insolación, precipitación y velocidad de viento que se obtiene de la estación meteorológica Izobamba M003, misma información ilustrada en la sección de recopilación de datos meteorológicos (capítulo 3).

Con dicha información, se procede a la implementación del software CROPTWAT 8.0, que mediante el uso de la ecuación 8 de Penman – Monteith calcula de manera automática la evapotranspiración referencial, donde se obtiene los resultados ilustrados en la tabla 12.

Tabla 12

Resultados de Evapotranspiración

Mes	ET _o mm/día
Enero	2.89
Febrero	2.73
Marzo	2.81
Abril	2.49
Mayo	2.73
Junio	2.69
Julio	2.98
Agosto	3.17
Septiembre	3.38
Octubre	3.02
Noviembre	2.9
Diciembre	2.82

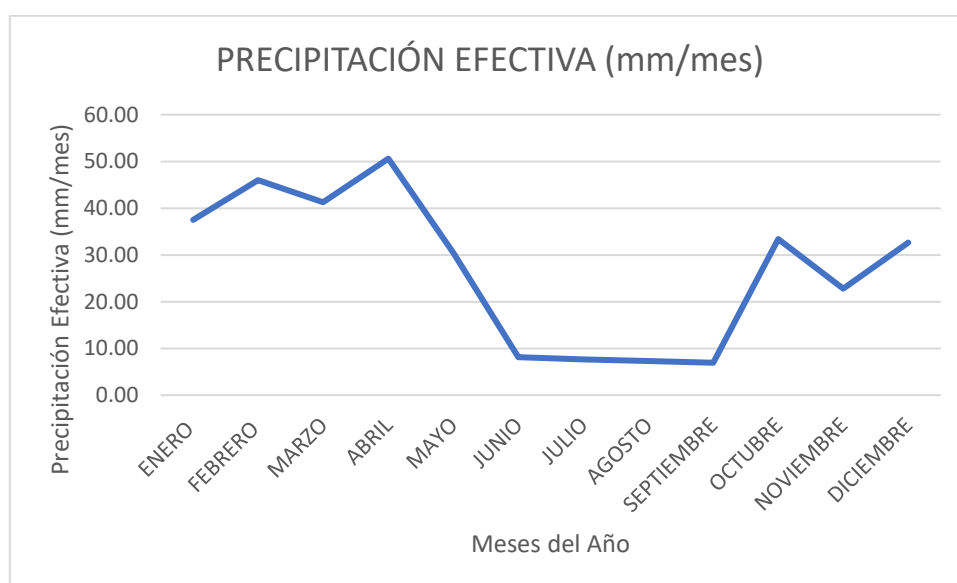
Nota. Resultados calculados mediante el Software CROPTWAT 8.0. Elaborado por: El autor.

5.1.2. Precipitación Efectiva

Su cálculo se basa en la ecuación 15, donde se asumen un porcentaje de la precipitación real, no obstante, el programa establece tres periodos por mes que acumulan la precipitación, por lo que, si se grafican los resultados, se puede evidenciar el comportamiento de la precipitación y los meses de déficit como se muestra en la figura 18.

Figura 18

Precipitación Efectiva



Nota. Grafica de Precipitación efectiva calculada por CROPTWAT 8.0 para cada mes. Elaborado por: El autor.

$$Pe \text{ promedio} = 0.89\text{mm}/\text{dia}$$

5.2. Definición de Parámetros

5.2.1. Asignación de Cultivo

Dado a que el cultivo predominante en el proyecto es el pasto, se desarrolla la programación de riego en función de dicho cultivo, de manera al asignar el tipo de plantación, se accede a información respecto a coeficiente de cultivo, profundidad radicular y clasificación y duración de etapas del cultivo, misma que se visualiza en la tabla 13.

Tabla 13*Datos Asignados para Pasto*

Etapa	Kc	Duración de Etapa (Días)	Profundidad Radicular (cm)
Inicio	0.90	150	50
Desarrollo	0.95	40	50
Mediado	0.95	130	50
Final	0.95	45	50

Nota. Datos obtenidos de la base de datos de CROPTWAT 8.0 al asignar el cultivo de pasto. Elaborado por: El autor.

La determinación del factor de cultivo (K_c), es un valor recomendado en el software, mismo que según la teoría, varía en función de la etapa en la que se encuentre por tanto considerar el valor K_c asignado en la tabla 7 ($K_c=1$) es constante por lo que se empleara el valor recomendado por el programa. De igual manera ocurre con la profundidad radicular, la cual establece rangos de entre 0.6 – 1 metro, por lo que al aproximarse se mantiene el valor de 0.5 metros asignados por el software.

5.2.2. Asignación de Suelo

Del mismo modo que en la asignación de cultivo, el programa posee en su base de datos registro de suelos con los que se puede obtener la capacidad de campo y la velocidad de infiltración. En la asignación se establece 3 texturas con las que se puede trabajar siendo fino, medio y grueso, de modo que para el presente trabajo se asigna un suelo medio y se trabaja con los las recomendaciones del programa, ya que en el diseño se requiere establecer un estudio de características físicas del suelo con mayor profundidad. Por tanto, los parámetros requeridos para la programación de riego, que entrega el programa en esta sección es:

- Capacidad de Campo: $C_c= 29 \%$
- Velocidad o Tasa de infiltración: $V_i= 6.88 \text{ mm/h}$

Otros parámetros requeridos como la densidad aparente, se hallan a partir de los rangos para suelo franco de la tabla 4, así mismo el punto de marchitez se calcula con la ecuación 5.

- Densidad Aparente: $D_a = 1.43 \text{ g/cm}^3$
- Punto de Marchitez: $P_m = \frac{C_c}{1.84} = \frac{0.29}{1.84} = 0.16 \approx 16 \%$
- Factor de Agotamiento: $f = 0.40$

5.3. Evapotranspiración de Cultivo (ETcultivo)

Con la información de evapotranspiración referencial (ET_o) calculada con el software se puede hallar la evapotranspiración de cultivo (resultados en tabla 14), a partir de la ecuación 14.

$$ET \text{ cultivo} = ET_o \times K_c \quad (\text{Ec. 14})$$

Tabla 14

Resultados de Evapotranspiración de Cultivo

MES	Días del Mes	Etapa	Kc	Kc	Etc (mm/día)
ENERO	31	INICIO	0.9		2.58
FEBRERO	28	INICIO	0.9	0.9	2.48
MARZO	31	INICIO	0.9		2.48
ABRIL	30	INICIO	0.9		2.29
MAYO	31	DESARROLLO	0.9	0.91	2.42
JUNIO	30	DESARROLLO	0.92		2.50
JULIO	31	MED	0.94		2.80
AGOSTO	31	MED	0.94	0.94	2.99
SEPTIEMBRE	30	MED	0.94		3.13
OCTUBRE	31	MED	0.94		2.87
NOVIEMBRE	30	FIN	0.94	0.94	2.73
DICIEMBRE	31	FIN	0.94		2.66

Nota. La tabla da los resultados, para visualizar los valores de evapotranspiración referencial, recurrir al anexo 4. Elaborado por: El autor.

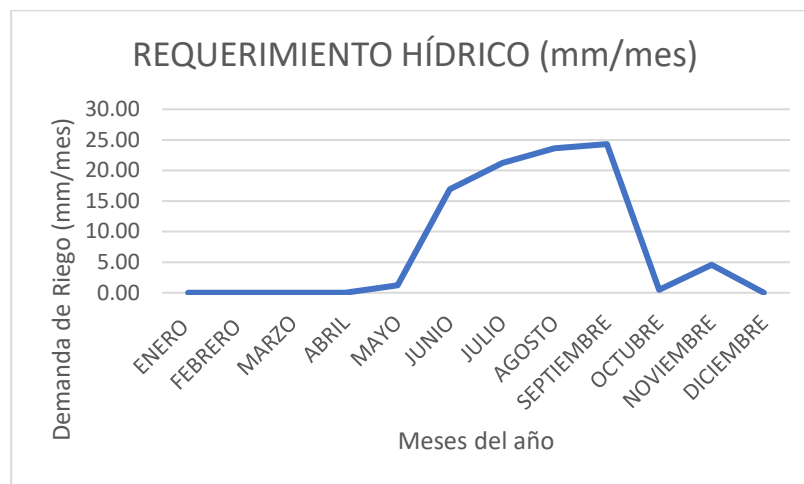
$$ETcPromedio = 2.66 \frac{mm}{día}$$

5.4. Requerimientos Hídricos

En contraposición a los meses de lluvia, se estable los periodos donde el recurso hídrico es necesario, para los cultivos, de modo que la figura 19, indica que durante los meses de mayo a noviembre es indispensable aplicar periodos de riego en menor medida para los primeros y últimos meses, dando mayor prioridad de riego en los meses de verano entre julio, agosto y septiembre

Figura 19

Grafica Requerimiento Hídrico



Nota. Representación del requerimiento hídrico en consideración de la reducción de precipitación para épocas de verano y su aumento en los meses de invierno. Elaborado por: El autor.

5.5. Eficiencia de Riego

La eficiencia de riego se establece en función de la tabla 8, donde el método de riego por aspersión tiene una eficiencia entre 0.65 a 0.75 (65% 75%) de modo que se selecciona un valor en este rango, optando por:

$$Er = 0.8 \approx 80\%$$

5.6. Demanda de Riego

La demanda de riego neta y total se calculan mediante la ecuación 16 y 17 respectivamente, para cada etapa de riego.

- Demanda de riego neta:

$$Dn = ET_{cultivo} - Pe \quad (Ec. 16)$$

- Demanda de riego total

$$Dt = \frac{Dn}{Er} \quad (Ec. 17)$$

Tabla 15*Resultados de Demanda de Riego*

ETAPAS	Kc	Eto (mm/día)	Etcultivo (mm/día)	Pe (mm/día)	Dn (mm/día)	Er (mm/día)	Dt (mm/día)
Inicio	0.9	2.66	2.394	0.89	1.504	0.8	1.88
Desarrollo	0.91	2.66	2.4206	0.89	1.5306	0.8	1.91325
Mediado	0.94	2.66	2.5004	0.89	1.6104	0.8	2.013
Final	0.94	2.66	2.5004	0.89	1.6104	0.8	2.013

Nota. Resultados de demanda calculados a partir de los resultados de CROPTWAT8.0
Elaborado por: El autor.

5.7. Lámina de Riego

Con los parámetros determinados, se determina la lámina de riego en base a las ecuaciones 19 y 20 respectivamente.

$$Ln = (Cc - Pm) \times Da \times Prof. radicalar \times f \quad (Ec. 19)$$

$$Ln = (0.29 - 0.16) \times 1.43 \times 500 \times 0.40$$

$$Ln = 37.86 \text{ mm}$$

$$Lt = \frac{Ln}{Er} \quad (Ec. 20)$$

$$Lt = \frac{37.89}{0.8}$$

$$Lt = 30.29 \text{ mm}$$

5.8. Frecuencia de Riego

Al calcular la lámina de riego, se puede establecer la frecuencia de riego, la cual se interpreta como el lapso de tiempo que transcurre entre cada riego.

$$Fr = \frac{Ln}{ETcultivo} = \frac{37.86 \text{ mm}}{2.66 \left(\frac{\text{mm}}{\text{día}}\right)} = 14 \text{ dias}$$

5.9. Tiempo de Riego

$$Tr = \frac{Lt}{Vi} = \frac{30.29 \text{ mm}}{6.88 \frac{\text{mm}}{\text{hora}}} \approx 4 \text{ horas}$$

5.10. Lámina de Riego Ajustada

La lámina ajustada, es la corrección en función de la demanda total y la frecuencia de riego, misma que se realiza para cada etapa (ver tabla 16)

$$Lta = Dt \times Fr \quad (Ec. 33)$$

Donde

Lta: Lámina de riego ajustada (mm)

Dt= Demanda de riego total (mm/día)

Fr: Frecuencia de riego (día)

Tabla 16

Resultados de Lámina de Riego Ajustada

Cultivo	ETAPAS	Etcultivo (mm/día)	Dt (mm/día)	Fr (día)	Lta (mm)
PASTO	Inicio	2.394	1.88	14	26.32
	Desarrollo	2.4206	1.91325	14	26.79
	Mediado	2.5004	2.013	14	28.18
	Final	2.5004	2.013	14	28.18

Nota. Los resultados se calcularon en base a las fórmulas planteadas. Elaborado por: El autor.

$$Lta \text{ promedio} = 27.37 \text{ mm}$$

5.11. Programación de Riego

De manera inicial, los cálculos, establecen que se cubrirá una lámina de 27.37 mm con riegos cada 14 días por 4 horas, no obstante, se opta por modificar dicha programación, de modo que se reducirá a la mitad, determinando un riego para una lámina de 13.68 mm cada 7 días durante 2 horas. Esta decisión es tomada por el autor, ya que evitara un dimensionamiento poco factible del tanque de almacenamiento para riego, es decir, se reduce el volumen requerido para obtener un espacio de menor tamaño para retener el agua extraída.

CAPÍTULO VI

DISEÑO HIDRÁULICO

Para el desarrollo de este proyecto, se contempla el diseño de un modelo hidráulico de un sistema de riego mediante el uso de la herramienta computacional WaterCAD de Bentley – Systems

6.1. Parámetros de Diseño

6.1.1. Área y Volumen Regable

Para la determinación de volumen y área regable se identifica 4 zonas de riego, de modo que al conocer su área se pueda calcular el volumen con la lámina de riego de 13.68 mm. planificada para no generar un volumen excesivo.

Se planifica el diseño de 4 líneas de riego descritas con la nomenclatura A, B, Cancha Norte (CN) y Cancha Oeste (CO), las cuales cubren áreas y volúmenes específicos de manera independiente según se indica en las tablas, donde se clasifican los espacios y se asigna el nombre de cada conducción.

Tabla 17

Áreas y Volumen Línea de Riego A

LINEA DE RIEGO A (LA)		
Numero de Área	Descripción	Área (m ²)
1	Jardinera Bloque H	451.17
2	Jardinera Gradass	129.22
3	Jardinera 1 Bloque B	374.07
4	Jardinera Bloque C	186.31
5	Jardinera Bloque D	351.13
6	Jardinera Posterior 1 Bloque A	480.55
AREA TOTAL (m ²)		1972.45
VOLUMEN DE RIEGO REQUERIDO (m ³)		26.98

Nota. Determinación de áreas y cálculo de volumen requerido para el riego semanal durante los meses de mayo a noviembre. Elaborado por: El autor.

Tabla 18*Áreas y Volumen Línea de Riego Cancha Oeste*

LÍNEA DE RIEGO CANCHA OESTE (LCO)		
Numero de Área	Descripción	Área (m²)
7	Cancha de Futbol oeste	2733.38
ÁREA TOTAL (m²)		2733.38
VOLUMEN DE RIEGO REQUERIDO (m³)		37.39

Nota. Determinación de áreas y cálculo de volumen requerido para el riego semanal durante los meses de mayo a noviembre. Elaborado por: El autor

Tabla 19**Áreas y Volumen Línea de Riego B**

LÍNEA DE RIEGO B (LB)		
Numero de Área	Descripción	Área (m²)
8	Jardinera Parquedero	479.77
9	Jardinera Posterior Bloque B	688.50
10	Jardinera 2 Bloque B	307.54
11	Caminería	154.07
12	Jardinera Posterior 2 Bloque A	652.08
ÁREA TOTAL (m²)		2281.96
VOLUMEN DE RIEGO REQUERIDO (m³)		31.22

Nota. Determinación de áreas y cálculo de volumen requerido para el riego semanal durante los meses de mayo a noviembre. Elaborado por: El autor

Tabla 20**Áreas y Volumen Línea de Riego Cancha Norte**

LÍNEA DE RIEGO CANCHA NORTE (LCN)		
Numero de Área	Descripción	Área (m²)
13	Jardinera Ingreso	158.4654
14	Jardinera Bloque A	497.665
15	Cancha Norte	3013.8411
ÁREA TOTAL (m²)		3669.9715
VOLUMEN DE RIEGO REQUERIDO (m³)		50.20

Nota. Determinación de áreas y cálculo de volumen requerido para el riego semanal durante los meses de mayo a noviembre. Elaborado por: El autor

Para la identificación visual de las zonas, recurrir al anexo 5 que presenta el plano con las áreas de riego que se muestran en las tablas.

6.1.2. Selección de Aspersores

Para el diseño del sistema de riego se deben establecer parámetros de verificación de funcionamiento de la red, de manera que se recurre a catálogos de aspersores que posean rangos de funcionamiento para concebir el sistema de riego.

Por tanto, el presente proyecto se basa en el catálogo de la empresa RainBird que da una basta selección de aspersores y establece las características de cada uno para su implementación.

En consideración de que se requiere cubrir áreas grandes, se recurre a implementar aspersores con boquilla rotativa para las jardineras y Aspersores de boquilla de alta eficiencia o rotores para las canchas mismas que se encuentran en el anexo 6. Su uso se justifica en la recomendación para riego en césped, mismo que se puede encontrar en las áreas verdes del campus sur y que permite cubrir entre un rango de 0° a 360° completando un círculo completo.

Características de aspersor de boquilla rotativa:

- Presiones de Funcionamiento: 15 – 38 mca
- Radio de riego: Aproximadamente 7 m.
- Caudal de riego: 0.26 L/s.

Características de aspersor de boquilla de alta eficiencia:

- Presión de Funcionamiento: Entre 15 - 41 mca
- Radio de Riego: Aproximadamente 15 m.
- Caudal de Riego: 0.78 L/s

6.1.3. Número y Espaciamiento de Aspersores

El número de aspersores se determina mediante la relación entre las áreas de riego y el área que puede cubrir un aspersor.

$$\# \text{ Aspersores} = \frac{\text{Area de Riego}}{\text{Area de Aspersor}} \quad (\text{Ec. 34})$$

Tabla 21*Numero de Aspersores de Boquilla Rotativa*

Aspersores de Boquilla Rotativa			
Número de Área	Descripción	Área (m²)	Numero de Aspersores
1	Jardinera Bloque H	451.17	2
2	Jardinera Gradadas	129.22	1
3	Jardinera 1 Bloque B	374.07	2
4	Jardinera Bloque C	186.31	1
5	Jardinera Bloque D	351.13	1
6	Jardinera Posterior 1 Bloque A	480.55	3
8	Jardinera Parqueadero	479.77	3
9	Jardinera Posterior Bloque B	688.50	2
10	Jardinera 2 Bloque B	307.54	2
11	Caminería	154.07	1
12	Jardinera Posterior 2 Bloque A	652.08	3
13	Jardinera Ingreso	158.47	1
14	Jardinera Bloque A	497.67	3

Nota. La tabla da una asignación de numero de aspersores para ser empleados en las jardineras.
Elaborado por: El autor.

Tabla 22*Número de Aspersores de Boquilla de Alta Eficiencia*

Aspersores de Boquilla Rotativa			
Numero de Área	Descripción	Área (m²)	Numero de Aspersores
7	Cancha de Futbol oeste	2733.38	2
15	Cancha Norte	3013.84	4

Nota. La tabla da una asignación de número de aspersores para ser empleados en las canchas.
Elaborado por: El autor.

Respecto al espaciamiento, para su determinación se recurre a la tabla 9, donde para una velocidad de viento de 3.5 m/s para marco de riego triangular o variado, se debe calcular el espaciamiento con 60% del diámetro. Se emplea dicho valor ya que la velocidad de viento establecida en los datos meteorológicos promedios del anexo 3, la magnitud es de 3.44 m/s y se aplica para un marco circular.

$$\text{Espaciamiento 1} = 0.6D = 0.6 \times (2 \times 7.4) = 8.88m \approx 9m$$

$$\text{Espaciamiento 2} = 0.6D = 0.6 \times (2 \times 15.85) = 19.02m \approx 20m$$

El espaciamiento 1 se asigna para los aspersores de boquilla rotativa y el espaciamiento 2 es para los aspersores de boquilla de alta eficiencia.

6.2. Modelación en WaterCAD

6.2.1. Ubicación de Aspersores

La ubicación consiste en asignar aspersores en función del diámetro de riego, de modo que dado el número de aspersores por área se cubra con los diámetros de riego de 7.4 metros y de 15.85 metros según sea el caso. Para ello se realiza un trazado dentro de la topografía con los diámetros como se indica en el anexo 7 que contempla un plano con esta representación.

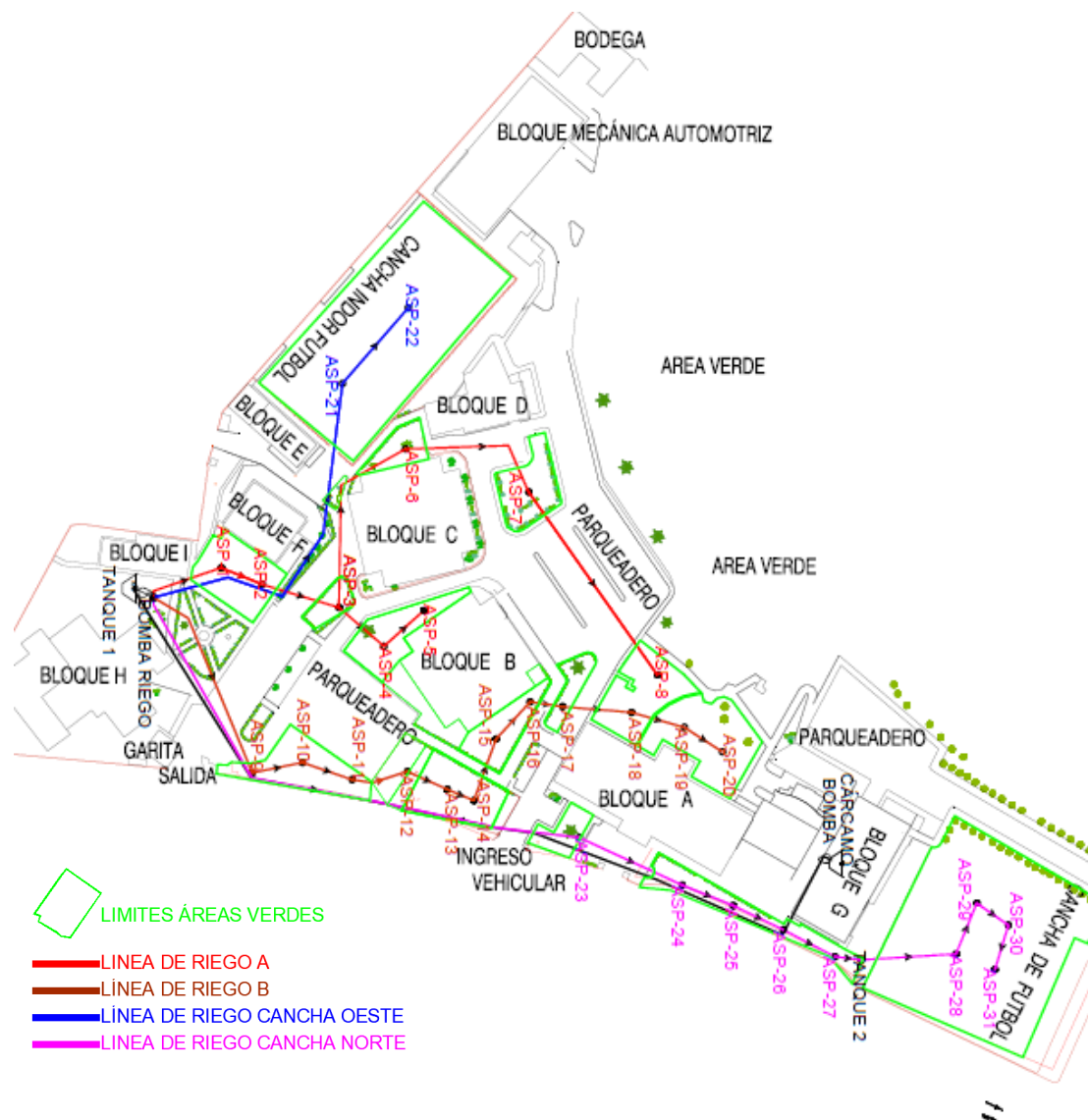
6.2.2. Trazado del Sistema de Riego

La planificación de trazado, contempla 5 líneas de conducción clasificadas en 4 líneas para el sistema de riego y una línea para el bombeo desde el cárcamo hacia el tanque de reserva. Así mismo se contempla la instalación de dos sistemas de almacenamiento ubicados cercanos al bloque I y al bloque G.

El desarrollo del modelo se basa en la creación de un proyecto en el software, mismo al que se le asigna unidades y características para, una vez calibrado insertar el fondo de la superficie de trabajar y finalmente llevar a cabo el trazado con el uso de las herramientas como tuberías, nodos reservorios y bombas generando un sistema de riego como se observa en la figura 20.

Figura 20

Trazado del Modelo



Nota. Trazado de las líneas de conducción y ubicación de los aspersores para el planteamiento del sistema de riego mediante el aprovechamiento del manantial. Elaborado por: El autor.

La figura 20 se entiende como la representación del trazado de las líneas de conducción para riego y el transporte desde el cárcamo hacia el tanque de reserva, de modo que se indica las zonas por donde se realizara el riego y las áreas naturales.

- **Línea de Bombeo (LBO):** Se extiende desde el cárcamo ubicado en el edificio bloque G, hasta el espacio abierto entre le bloque F-I. Esta línea se ubica en el borde de la calle Rumichaca Ñan ya que en esta sección se tiene un terreno sin mucha

irregularidad de elevación que llega a la zona más alta de la universidad. Posee un total de 2 tuberías en las que se incluye el sistema de bombeo.

- **Línea Principal (LP):** Comprende el tramo de salida desde el tanque de almacenamiento hacia el punto de ramificación de las líneas secundarias para el riego, posee dos tramos de tuberías en los que se ubica la bomba para riego.
- **Línea de Riego A (LA):** Con un total de 9 tramos de tubería, da cobertura a las jardineras de los bloques H, B, C, D, A por la parte oeste, con un total de 8 aspersores de boquilla rotativa asignados con nomenclatura ASP-1 hasta ASP-8.
- **Línea de Riego B (LB):** Con un total de 12 tramos de tubería, da cobertura a las jardineras de los bloques B y A por la parte norte, con un total de 12 aspersores de boquilla rotativa asignados con nomenclatura ASP-9 hasta ASP-20
- **Línea de Riego Cancha Oeste (LCO):** Con un total de 2 tramos de tubería, da cobertura a la cancha cerca al bloque E, con un total de 2 aspersores de alta eficiencia asignados con nomenclatura ASP-21 hasta ASP-22
- **Línea de Riego Cancha Norte (LCN):** Con un total de 10 tramos de tubería, da cobertura a la cancha cerca al bloque G, con un total de 4 aspersores de alta eficiencia y 5 aspersores de boquilla rotativa asignados con nomenclatura ASP-23 hasta ASP-31

Las líneas de conducción propuestas se representan gráficamente en el plano de trazado del anexo 8.

6.2.3. Diámetro de Tuberías

El presente proyecto basa el diámetro de tuberías en el catálogo que presenta la empresa Plastigama, ya que busca acoplar el mercado nacional a las necesidades del proyecto.

La asignación de diámetros para el software en cada línea de riego se fundamenta en el cubrir las presiones necesarias, considerando que la inclusión de la bomba de riego contribuye a la presurización. De modo que al correr el programa las tuberías no tengan problema respecto

al transporte del fluido. Además, que las tuberías seleccionadas se implementan específicamente para riego por recomendación del fabricante, por lo que se propone los siguientes diámetros:

Tabla 23

Diámetro de Tuberías Utilizadas

Descripción	Diámetros Asignados		
	Material	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Real (mm)
Línea de Bombeo (LBO)	PVC	110	99.6
Línea de Riego A (LA)	PVC	63	56.8
Línea de Riego B (LB)	PVC	63	56.8
Línea de Riego Cancha Oeste (LCO)	PVC	63	58.8
Línea de Riego Cancha Norte (LCN)	PVC	90	81.8

Nota. Tabla de los diámetros seleccionados para el sistema de Riego y la línea de bombeo. Elaborado por: El autor.

6.2.4. Sistema de Almacenamiento

El almacenamiento se desarrolla en función de los volúmenes establecidos para cada línea de riego como se muestra en la tabla 24.

Tabla 24

Volúmenes de Áreas de Riego

Descripción	V (m ³)
VOLUMEN DE RIEGO REQUERIDO (LA)	26.98
VOLUMEN DE RIEGO REQUERIDO (LB)	37.39
VOLUMEN DE RIEGO REQUERIDO (LCO)	31.21
VOLUMEN DE RIEGO REQUERIDO (LCN)	50.20

Nota. Los volúmenes se calculan con las áreas de cada línea de riego y la lámina de 13.68 ms. Elaborado por: El autor.

La programación de riego, da la propuesta de funcionamiento del sistema mediante un riego por turnos, donde se active las líneas de manera independiente y se pueda realizar el riego, esto debido a que el área a cubrir es extensa y un tanque con un volumen de 145.78 m³ que es la suma de todos los volúmenes requeridos para riego, no es viable. Por tanto, se desarrollará un tanque con el volumen mayor de las 4 líneas a cubrir. De modo que, se utilizara un volumen

de 50.20m³ para dimensionar el tanque, correspondiente al riego de la línea cancha norte (LCN), finalmente se da una propuesta de dimensiones que satisfagan el volumen indicado.

Tabla 25

Dimensiones Propuestas y Volumen Calculado

Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Volumen (m³)
5.00	5.00	2.10	52.5

Nota. Dimensiones de tanque propuesto para suplir los requerimientos. Elaborado por: El autor.

Por lo tanto, diseño del tanque se realiza para un volumen de 52.5 m³, ya que el mismo satisface el volumen de riego máximo de 52.2 m³, respecto a la línea de riego cancha norte.

6.2.5. Bombas

6.2.5.1. Selección de Bombas

La selección de bombas se refiere a establecer un parámetro de guía sobre el uso de bombas, es decir establecer que bombas se pueden aplicar en el caso de riego e impulsión para abastecimiento. Por ello se recurre al catálogo de la empresa EBARA, mismo que establece bombas y sus diferentes usos en función de la potencia requerida.

Las bombas establecidas en el catálogo se pueden visualizar en el anexo 9 que contiene la información respecto a curvas características y las potencias de las bombas de donde se obtuvo el rango de potencias para el presente proyecto.

Por tanto, se establece un rango de funcionamiento de bombas para riego e impulsión de 0.34 hasta 4 KW.

6.2.5.2. Bombas para Riego

La bomba para riego se implementa para el incremento de presiones en el sistema, de manera que según la planificación del trazado se requiere de una bomba que distribuye a las 4 líneas de riego de manera independiente, dado a que el riego se realiza por turnos, por ello, se

utilizara una bomba con potencia de 0.5 KW en la definición de características de las bombas de WaterCAD, para así verificar si con la potencia establecida, las presiones son satisfactorias.

En consideración de que las bombas requieren de cierta eficiencia para el funcionamiento, se asigna una eficiencia de 75%, dado a que las bombas alcanzan un 85% de rendimiento máximo.

Respecto a los caudales, al realizarse un riego por turnos se asigna descargas de diseño en función de las demandas a cumplir por los aspersores, por tanto, la asignación se establece de la siguiente manera:

6.2.5.3. Bomba de Impulsión

Con el fin de plantear el modelo completo, la planificación del sistema requiere que las aguas subterráneas del bloque G se transporten hacia un tanque en la cota más alta del terreno para poder distribuir el flujo con ayuda de la gravedad y la presión en las tuberías, en función de ello se implementa una bomba de impulsión que se extiende desde el bloque G hasta el bloque H donde se almacenara el agua.

Realizado el trazado y la asignación de elevaciones en el modelo WaterCAD además de conocer el caudal de diseño establecido por la campaña de aforamiento, se puede determinar la carga dinámica, misma que considera las pérdidas y permite establecer la potencia de la bomba mediante el siguiente procedimiento.

En primera instancia se establecen los datos conocidos.

Tabla 26

Parámetros de Diseños de Bomba

Caudal (m ³ /s)	Φ (mm)	Φ (m)	Parámetros Iniciales		Carga (m)	Eficiencia
			Rugosidad Abs (mm)	Long. Tubería (m)		
0.00191	99.6	0.0996	0.0015	268	16	75%

Nota. La tabla contiene valores calculados y asignados previamente. Elaborado por: El autor.

Para el cálculo de las pérdidas por fricción se implementa la ecuación de Darcy-Weisbach donde:

$$hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \text{Log} \left(\frac{2.51}{Re \times \sqrt{f}} + \frac{Rug. Relat}{3.71} \right)$$

Rugosidad Relativa:

$$R. relativa = \frac{R absoluta}{Diametro}$$

$$\frac{0.0015mm}{0.0996mm}$$

$$1.506 \times 10^{-5}$$

Velocidad:

$$v = \frac{Caudal}{Area}$$

$$\frac{0.00191m^3}{s}$$

$$\frac{\pi \times 0.0996^2}{4} m^2$$

$$0.245 \frac{m}{s}$$

Numero de Reynolds:

$$Re = \frac{v \times Diametro}{\nu}$$

$$\frac{0.245 \frac{m}{s} \times 0.0996m}{1.004 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$24304.78$$

Factor de Fricción: Para su determinación se recurre al método iterativo donde se va asignando un valor de factor de fricción a la ecuación # hasta que los valores cumplan la igualdad.

Tabla 27*Cálculo Factor de Fricción*

f	$\frac{1}{\sqrt{f}}$	$-2 \times \text{Log} \left(\frac{2.51}{\text{Re} \times \sqrt{f}} + \frac{\text{Rug.Relat}}{3.71} \right)$
0.02	7.01	6.273
0.022	6.74	6.31
0.024	6.45	6.35
0.0247	6.36	6.36

Nota. La tabla muestra los resultados de realizar iteraciones con la ecuación de Darcy Weisbach hasta obtener una igualdad que establezca el factor. Elaborado por: El autor.

Cálculo de Pérdidas por Fricción:

$$hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} = 0.0247 \times \frac{268m}{0.0996m} \times \frac{0.245^2 \frac{m}{s}}{2 \times 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.203 m$$

Cálculo de pérdidas menores:

$$hl = k \times \frac{v^2}{2g}$$

En la tubería se considera la inclusión de 2 codos de 90 grados y una válvula para la activación del sistema, por tanto:

- K de codo de 90°= 0.80
- K de válvula completamente abierta=10

$$\sum hl = (2 \times 0.80 \times \frac{0.245^2 \frac{m}{s}}{2 \times 9.81 \frac{m}{s^2}}) + \left(10 \times \frac{0.245^2 \frac{m}{s}}{2 \times 9.81 \frac{m}{s^2}} \right) = 0.03548 m$$

Pérdidas Totales:

$$\sum h = hf + hl = 0.203m + 0.03548 = 0.238 m$$

Carga Dinámica:

$$\text{Carga Dinamica} = \text{Carga} + \sum h = 16m + 0.238m = 16.238 m$$

Cálculo de Potencia:

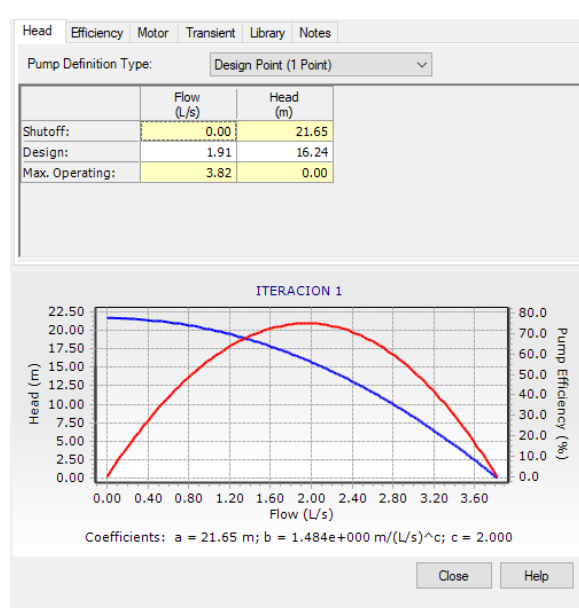
$$P = 405670W \times \frac{1KW}{1000W} = 0.405 KW$$

El resultado de la potencia de 0.41 KW, es satisfactorio para el uso de las bombas que Ebara expone en su catálogo ya que las mismas son implantados para realizar el abastecimiento, es decir que son de uso para la impulsión en líneas de conducción.

Una vez determinada la carga se ingresa la misma en la definición de la bomba en conjunto con el caudal de diseño y la eficiencia de 75%.

Figura 21

Definición de Bomba con Carga Dinámica



Nota. Definición de impulsión de bomba mediante la asignación de caudal de diseño y carga dinámica. Elaborado por: El autor.

6.2.6. Escenarios y alternativas

Dado a que la planificación de riego se plantea para riego por turnos, es necesario implementar escenarios donde se represente por simulación el funcionamiento de cada línea de manera independiente. Por tanto, se crea 4 escenarios donde se asigna la demanda por cada

línea de riego y se mantiene el funcionamiento del sistema de bombeo para la recolección de agua.

Cabe resaltar que, el modelo creado se origina con un escenario base, del cual se crea un escenario hijo llamado que contempla el soterramiento de la línea de riego y posterior a esta se crean las alternativas con el riego por turnos, los cuales se evidencian al asignar demandas únicamente a la línea que funcionará por cada escenario.

6.2.7. Demandas de Riego

Las demandas de riego son las establecidas por los aspersores seleccionados, de modo que, para aspersores rotativos, el caudal es de 0.26 L/s por aspersor y para aspersores de boquilla de alta eficiencia es de 0.78 L/s. Estos se asignan en el centro de control de demandas del programa para cada escenario.

Tabla 28

Demandas para Línea de Riego A

ETIQUETA	DEMANDA (L/s)
TANQUE 1	1.91
J-45	2.08
ASP-1	0.26
ASP-2	0.26
ASP-3	0.26
ASP-4	0.26
ASP-5	0.26
ASP-6	0.26
ASP-7	0.26
ASP-8	0.26

Nota. Demandas para línea de Riego A y línea de Bombeo. Elaborado por: El autor.

Tabla 29*Demanda para Línea de Riego B*

ETIQUETA	DEMANDA (L/s)
TANQUE 1	1.91
J-45	3.12
ASP-9	0.26
ASP-10	0.26
ASP-11	0.26
ASP-12	0.26
ASP-13	0.26
ASP-14	0.26
ASP-15	0.26
ASP-16	0.26
ASP-17	0.26
ASP-18	0.26
ASP-19	0.26
ASP-20	0.26

Nota. Captura de las demandas para línea de Riego B y línea de Bombeo. Elaborado por: El autor.

Tabla 30*Demanda para Riego en Línea Cancha Oeste*

ETIQUETA	DEMANDA (L/s)
TANQUE 1	1.91
J-45	1.56
ASP-21	0.78
ASP-22	0.78

Nota. Captura de las demandas para línea de Riego Cancha Oeste y línea de Bombeo. Elaborado por: El autor.

Tabla 31*Demanda para Línea de Riego Cancha Norte*

ETIQUETA	DEMANDA (L/s)
TANQUE 1	1.91
J-45	4.42
ASP-23	0.26
ASP24	0.26
ASP-25	0.26
ASP-26	0.26
ASP-27	0.26
TANQUE 2	3.12
ASP-28	0.78
ASP-29	0.78
ASP-31	0.78
ASP-30	0.78

Nota. Captura de las demandas para línea de Riego Cancha Norte y línea de Bombeo.
Elaborado por: El autor.

6.3. Reporte de Resultados

Una vez finalizado el trazado y la definición de componentes y elevaciones, se procede a realizar el computo, para la obtención de resultados con la finalidad de analizar el modelo hidráulico.

Para el análisis de resultados se debe identificar 4 variables, entre ellas, los reportes de resultados de tuberías y nodos que simulan ser los aspersores que nos establecen las presiones, el esquema del trazado y la gráfica de perfiles.

Tabla 32*Tabla de Resultados de Tuberías Línea de Riego A*

Etiqueta	Longitud(m)	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Hazen-Williams C	Coficiente de Perdida Menor (Local)	Flujo (L/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente (m/m)
LP-1	4	R-5	BOMBA RIEGO	140	PVC	150	0	4.16	0.27	0.001
LP-2	3	BOMBA RIEGO	J-45	140	PVC	150	0	4.16	0.27	0.001
LA-1	24	J-45	ASP-1	56.8	PVC	150	0.87	2.08	0.82	0.014
LA-2	14	ASP-1	ASP-2	56.8	PVC	150	0	1.82	0.72	0.01
LA-3	25	ASP-2	ASP-3	56.8	PVC	150	0	1.56	0.62	0.008
LA-4	18	ASP-3	ASP-4	56.8	PVC	150	0	0.52	0.21	0.001
LA-5	16	ASP-4	ASP-5	56.8	PVC	150	0	0.26	0.1	0
LA-7	60	ASP-3	ASP-6	56.8	PVC	150	0.8	0.78	0.31	0.002
LA-8	47	ASP-6	ASP-7	56.8	PVC	150	0.8	0.52	0.21	0.001
LA-9	69	ASP-7	ASP-8	56.8	PVC	150	0	0.26	0.1	0

Nota. Resultados entregados por el cálculo del Software WaterCAD. Elaborado por: El autor

Tabla 33

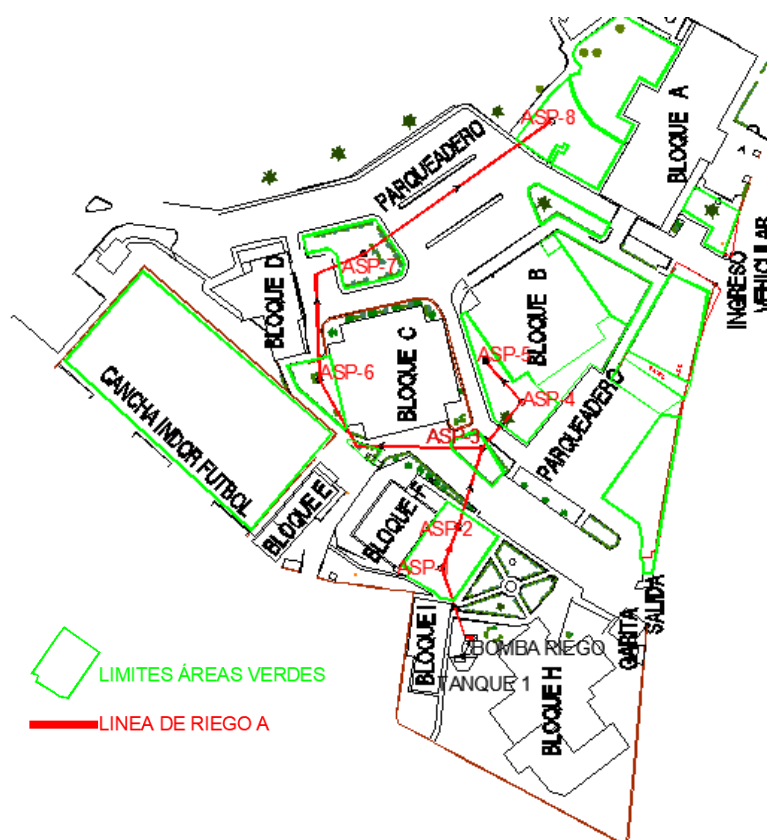
Tabla de Resultados de Aspersores Línea de riego A

Etiqueta	Elevación (m)	Demanda (L/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (m H2O)
J-45	2,897.00	2.08	2,909.27	12
ASP-1	2,890.25	0.26	2,908.93	19
ASP-2	2,890.25	0.26	2,908.80	19
ASP-3	2,889.65	0.26	2,908.61	19
ASP-4	2,888.15	0.26	2,908.59	20
ASP-5	2,888.10	0.26	2,908.58	20
ASP-6	2,887.40	0.26	2,908.47	21
ASP-7	2,886.25	0.26	2,908.41	22
ASP-8	2,884.95	0.26	2,908.39	23

Nota. Resultados entregados por el cálculo del Software WaterCAD. Elaborado por: El autor.

Figura 22

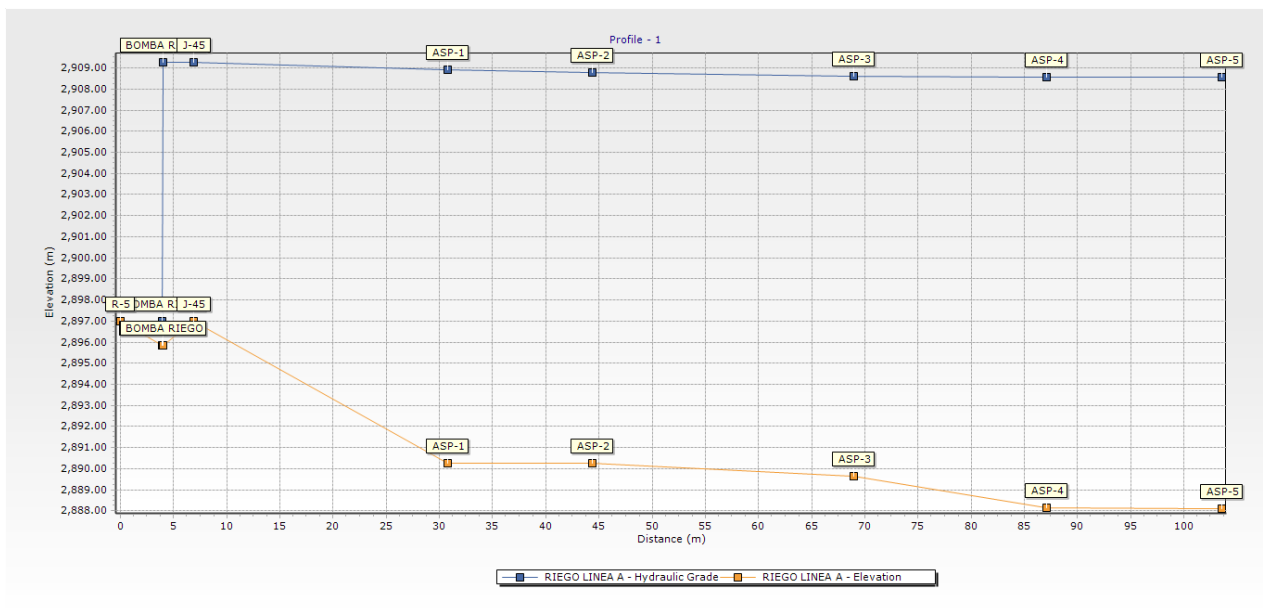
Esquema del Trazado de la Línea de Riego A



Nota. Esquema de trazado para riego en la línea A extraído de WaterCAD. Elaborado por: El autor

Figura 23

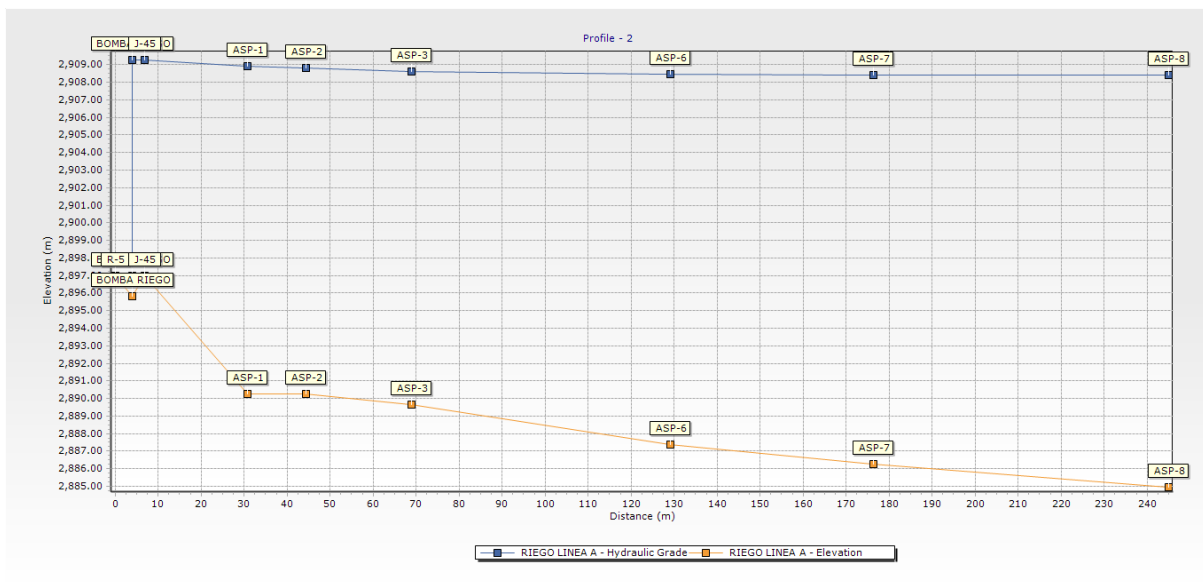
Perfil de Línea de Riego A Tramo 1



Nota. Perfil de línea de gradiente hidráulico y elevaciones de cada aspersor. Elaborado en WaterCAD por el autor.

Figura 24

Perfil de la línea de Riego A Tramo 2



Nota. Perfil de línea de gradiente hidráulico y elevaciones de cada aspersor. Elaborado en WaterCAD por el autor.

En primer lugar, los resultados provenientes del software WaterCAD, permiten establecer 3 parámetros necesarios, entre ellos la presión, la velocidad y la demanda.

El trazado de la figura 22 referente a la línea de riego A, se compone de 8 aspersores que poseen unas tuberías de 63 mm de diámetro nominal, la cual requiere que por cada aspersor la demanda sea de 0.26 L/s valor que se expone entre los resultados de la tabla 33 donde el caudal que sale del tanque es de 2.08 L/s y distribuye al resto de la red. Para la conducción se implementa una bomba con 0.5 KW de potencia que permite el incremento de las presiones y da como resultado una carga de presión entre 19 - 20 metros de columna de agua, siendo este resultado satisfactorio para aspersores rotativos que requieren demandas de entre 15 a 41 metros de columna de agua.

Finalmente, el incremento de presiones se ve representado en los perfiles (Figuras 23 y 24), donde la línea amarilla representa la elevación de los aspersores y del tanque de reserva, mientras que la línea azul representa la adición de carga y la línea de gradiente hidráulico que se obtiene al finalizar la simulación de riego de manera que en elevación se parte de la cota 2897 msnm y se alcanza la cota 2884 msnm y con la inclusión de bomba se obtiene una elevación de gradiente hidráulico a la cota 2909.27 msnm y finaliza en la cota 2908.39 msnm.

Tabla 34*Resultados de Tuberías línea de Riego B*

Etiqueta	Longitud(m)	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Hazen- Williams C	Coeficiente de Perdida		Flujo (L/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente (m/m)
							Menor (Local)				
LP-1	4	R-5	BOMBA RIEGO	140	PVC	150	0		6.24	0.41	0.001
LP-2	3	BOMBA RIEGO	J-45	140	PVC	150	0		6.24	0.41	0.001
LB-1	64	ASP-9	J-45	56.8	PVC	150	0.87		-3.12	1.23	0.027
LB-2	16	ASP-9	ASP-10	56.8	PVC	150	0		2.86	1.13	0.027
LB-3	16	ASP-10	ASP-11	56.8	PVC	150	0		2.6	1.03	0.019
LB-4	18	ASP-11	ASP-12	56.8	PVC	150	0		2.34	0.92	0.018
LB-5	13	ASP-12	ASP-13	56.8	PVC	150	0		2.08	0.82	0.015
LB-6	9	ASP-13	ASP-14	56.8	PVC	150	0		1.82	0.72	0.013
LB-7	20	ASP-14	ASP-15	56.8	PVC	150	0.8		1.56	0.62	0.008
LB-8	15	ASP-15	ASP-16	56.8	PVC	150	0.8		1.3	0.51	0.006
LB-9	10	ASP-16	ASP-17	56.8	PVC	150	0		1.04	0.41	0.004
LB-10	21	ASP-17	ASP-18	56.8	PVC	150	0		0.78	0.31	0.002
LB-11	17	ASP-18	ASP-19	56.8	PVC	150	0		0.52	0.21	0.001
LB-12	14	ASP-19	ASP-20	56.8	PVC	150	0		0.26	0.1	0

Nota. Resultados entregados por el cálculo del Software WaterCAD. Elaborado por: El autor

Tabla 35

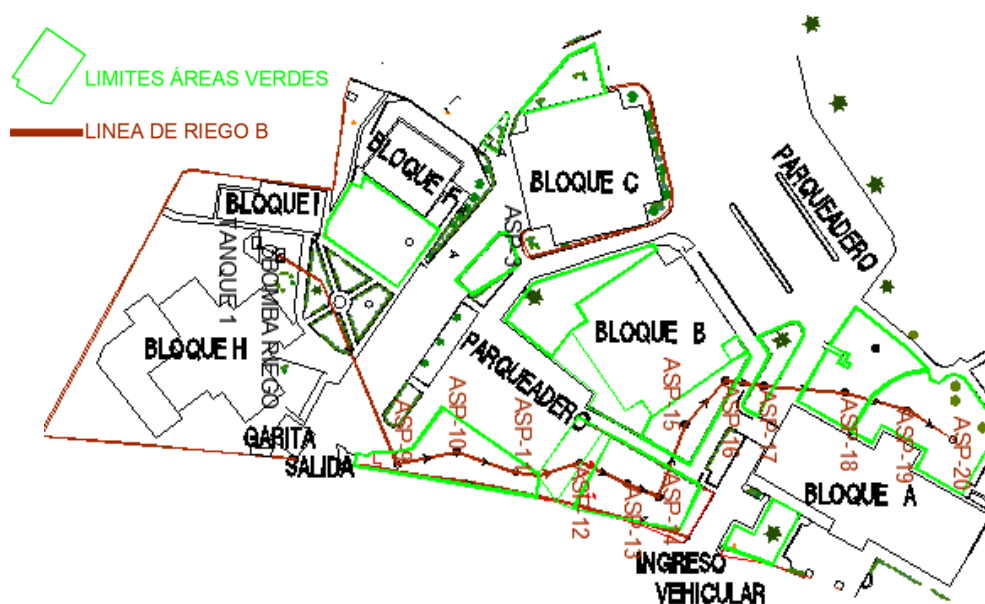
Tabla de Resultados de Aspersores Línea B

Etiqueta	Elevación (m)	Demanda (L/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (m H2O)
J-45	2,897.00	3.12	2,905.17	8
ASP-9	2,888.35	0.26	2,903.48	15
ASP-10	2,888.25	0.26	2,903.06	15
ASP-11	2,887.40	0.26	2,902.75	15
ASP-12	2,887.25	0.26	2,902.43	15
ASP-13	2,885.60	0.26	2,902.23	17
ASP-14	2,885.35	0.26	2,902.12	17
ASP-15	2,885.00	0.26	2,901.95	17
ASP-16	2,885.75	0.26	2,901.86	16
ASP-17	2,884.40	0.26	2,901.81	17
ASP-18	2,883.65	0.26	2,901.76	18
ASP-19	2,881.85	0.26	2,901.75	20
ASP-20	2,881.55	0.26	2,901.74	20

Nota. Resultados entregados por el cálculo del Software WaterCAD. Elaborado por: El autor.

Figura 25

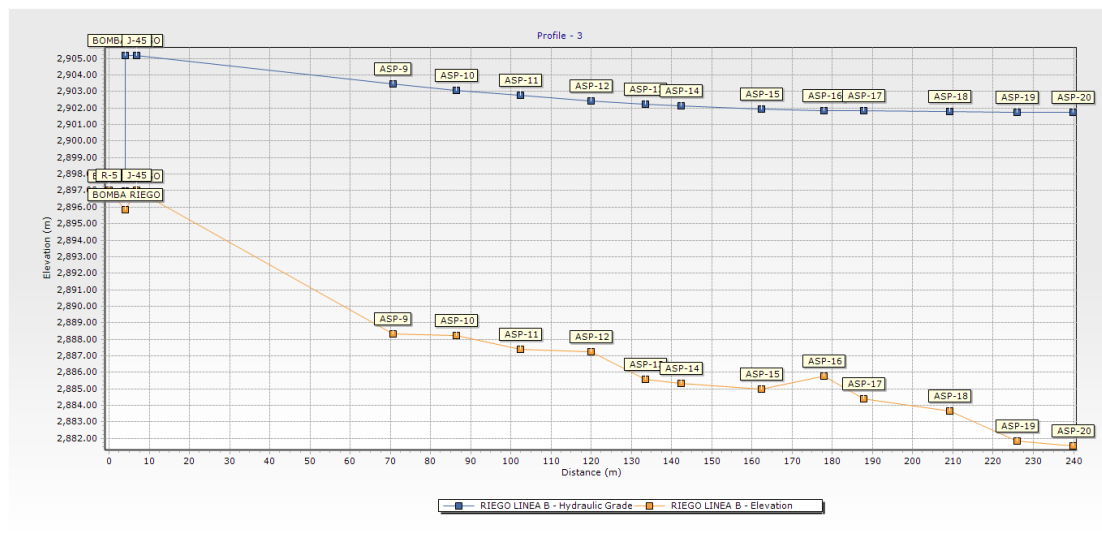
Esquema del Trazado de la Línea de Riego B



Nota. Esquema de trazado para riego en la línea B extraído de WaterCAD. Elaborado por: El autor

Figura 26

Perfil de Línea de Riego B



Nota. Perfil de línea de gradiente hidráulico y elevaciones de cada aspersor. Elaborado en WaterCAD por el autor.

El trazado de la figura 25 referente a la línea de riego B, se compone de 12 aspersores que poseen unas tuberías de 63 mm de diámetro nominal, la cual requiere que por cada aspersor la demanda sea de 0.26 L/s valor que se expone entre los resultados de la tabla 35 donde el caudal que sale del tanque es de 3.12 L/s y distribuye al resto de la red. Para la conducción se implementa una bomba con 0.5 KW de potencia que permite el incremento de las presiones y da como resultado una carga de presión entre 15 - 20 metros de columna de agua, siendo este resultado satisfactorio para aspersores rotativos que requieren demandas de entre 15 a 41 metros de columna de agua.

Finalmente, el incremento de presiones se ve representado en los perfiles (Figuras 26), donde la línea amarilla representa la elevación de los aspersores y del tanque de reserva, mientras que la línea azul representa la adición de carga y la línea de gradiente hidráulico que se obtiene al finalizar la simulación de riego de manera que en elevación se parte de la cota 2897 msnm y se alcanza la cota 2881.55 msnm y con la inclusión de bomba se obtiene una elevación de gradiente hidráulico a la cota 2905.17 msnm y finaliza en la cota 2901.74 msnm

Tabla 36*Resultados de Tubería Línea de Riego Cancha Oeste*

Etiqueta	Longitud(m)	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Hazen-Williams C	Coficiente de Perdida Menor (Local)	Flujo (L/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente (m/m)
LP-1	4	R-5	BOMBA RIEGO	140	PVC	150	0	3.12	0.2	0
LP-2	3	BOMBA RIEGO	J-45	140	PVC	150	0	3.12	0.2	0
LCO-1	111	J-45	ASP-21	58.8	PVC	150	0	1.56	0.57	0.007
LCO-2	31	ASP-21	ASP-22	58.8	PVC	150	0	0.78	0.29	0.002

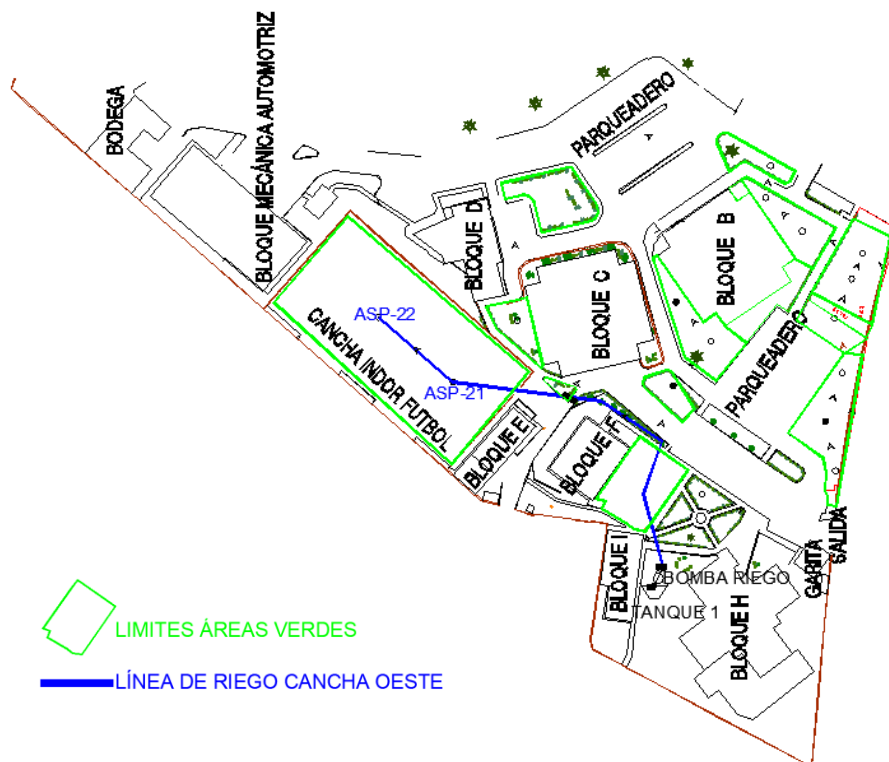
Nota. Resultados entregados por el cálculo del Software WaterCAD. Elaborado por: El autor**Tabla 37***Resultados de Aspersores Línea de Riego Cancha Oeste*

Etiqueta	Elevación (m)	Demanda (L/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (m H₂O)
J-45	2,897.00	1.56	2,913.36	16
ASP-21	2,887.00	0.78	2,912.64	26
ASP-22	2,887.00	0.78	2,912.58	26

Nota. Resultados entregados por el cálculo del Software WaterCAD. Elaborado por: El autor.

Figura 27

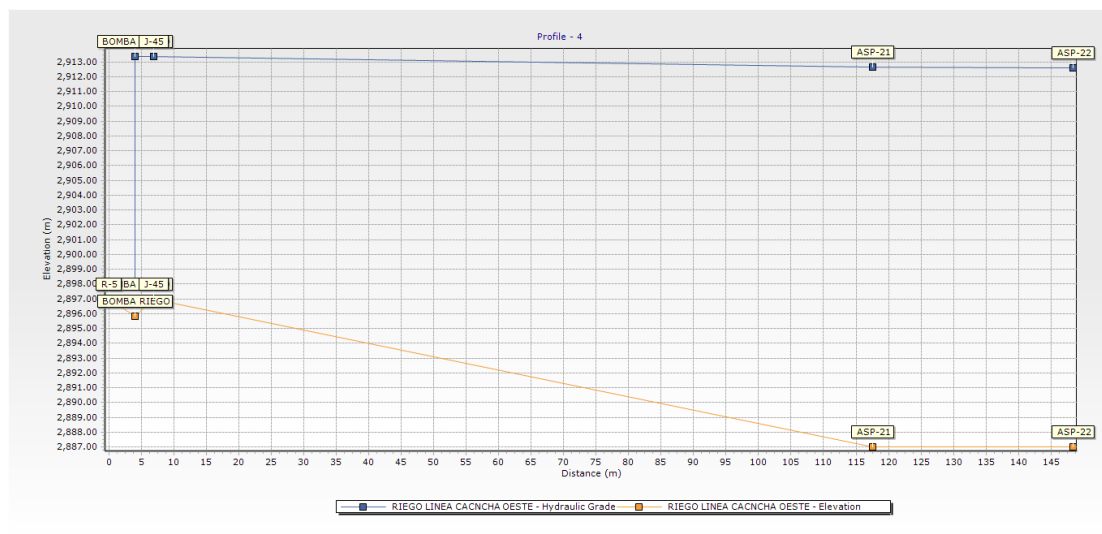
Esquema del Trazado de la Línea de Riego Cancha Oeste



Nota. Esquema de trazado para riego en la línea de la Cancha Oeste extraído de WaterCAD. Elaborado por: El autor

Figura 28

Perfil de la Línea de Riego Cancha Oeste



Nota. Perfil de línea de gradiente hidráulico y elevaciones de cada aspersor. Elaborado en WaterCAD por el autor.

El trazado de la figura 27 referente a la línea de riego para la Cancha oeste (Frente al Bloque E), se compone de 2 aspersores de alta eficiencia que poseen unas tuberías de 63 mm de diámetro nominal, la cual requiere que por cada aspersor la demanda sea de 0.78 L/s valor que se expone entre los resultados de la tabla 37, donde el caudal que sale del tanque es de 1.56 L/s y distribuye al resto de la red. Para la conducción se implementa una bomba con 0.5 KW de potencia que permite el incremento de las presiones y da como resultado una carga de presión de 26 metros de columna de agua, siendo este resultado satisfactorio para aspersores de alta eficiencia (rotores) que requieren demandas de entre 15 a 41 metros de columna de agua.

Finalmente, el incremento de presiones se ve representado en los perfiles (Figura 28), donde la línea amarilla representa la elevación de los aspersores y del tanque de reserva, mientras que la línea azul representa la adición de carga y la línea de gradiente hidráulico que se obtiene al finalizar la simulación de riego de manera que en elevación se parte de la cota 2897 msnm y se alcanza la cota 2887 msnm y con la inclusión de bomba se obtiene una elevación de gradiente hidráulico a la cota 2913.36 msnm y finaliza en la cota 2912.58 msnm.

Tabla 38*Resultados de Tuberías Línea de Riego Cancha Norte*

Etiqueta	Longitud(m)	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Hazen- Williams C	Coeficiente de Perdida		Flujo (L/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente (m/m)
							Menor (Local)				
LP-1	4	R-5	BOMBA RIEGO	140	PVC	150	0		11.96	0.78	0.004
LP-2	3	BOMBA RIEGO	J-45	140	PVC	150	0		11.96	0.78	0.004
LCN-1	166	J-45	ASP-23	81.8	PVC	150	0.87		7.54	1.43	0.023
LCN-2	35	ASP-23	ASP24	81.8	PVC	150	0		7.28	1.39	0.021
LCN-3	17	ASP24	ASP-25	81.8	PVC	150	0		7.02	1.34	0.02
LCN-4	17	ASP-25	ASP-26	81.8	PVC	150	0		6.76	1.29	0.018
LCN-5	18	ASP-26	ASP-27	81.8	PVC	150	0		6.5	1.24	0.017
LCN-6	8	ASP-27	TANQUE 2	86.4	PVC	150	0		6.24	1.06	0.012
LCN-7	29	TANQUE 2	ASP-28	86.4	PVC	150	0		3.12	0.53	0.004
LCN-8	17	ASP-28	ASP-29	81.8	PVC	150	0		2.34	0.45	0.003
LCN-9	12	ASP-29	ASP-30	81.8	PVC	150	0		1.56	0.3	0.001
LCN-10	14	ASP-30	ASP-31	81.8	PVC	150	0		0.78	0.15	0

Nota. Resultados entregados por el cálculo del Software WaterCAD. Elaborado por: El autor.

Tabla 39

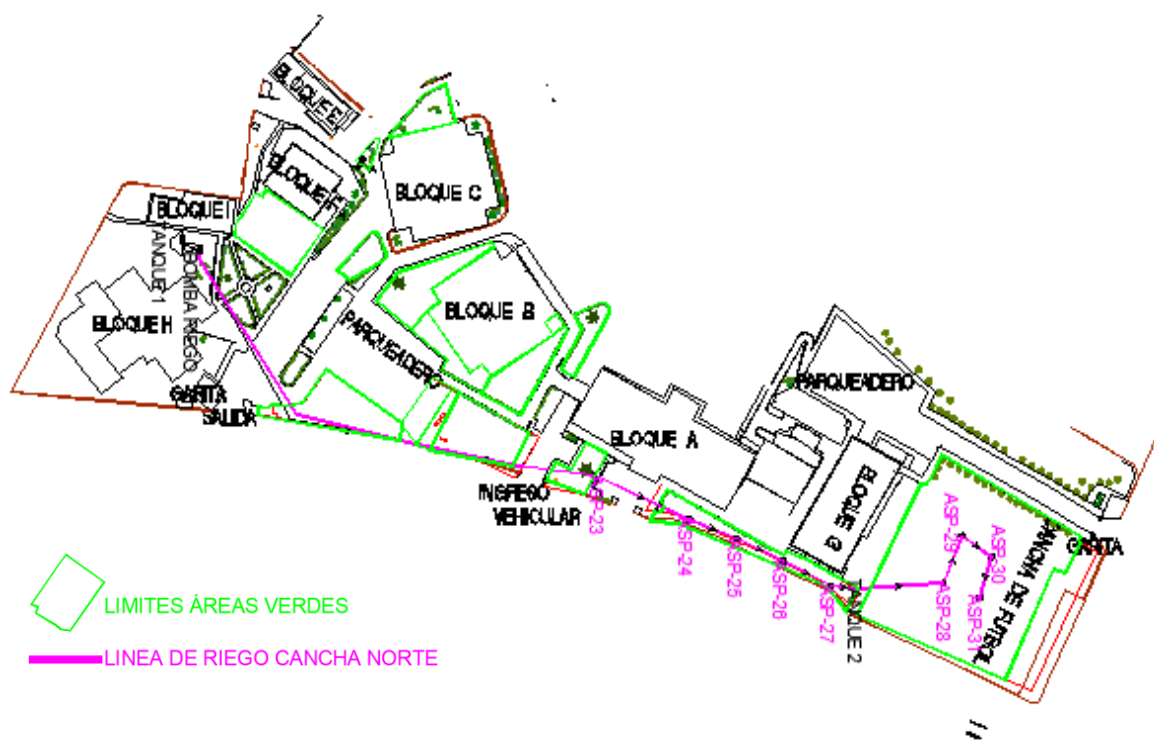
Resultados de Aspersores Línea Cancha Norte

Etiqueta	Elevación (m)	Demanda (L/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (m H2O)
J-45	2,897.00	4.42	2,901.24	4
ASP-23	2,882.40	0.26	2,897.45	15.00
ASP24	2,881.25	0.26	2,896.73	15.00
ASP-25	2,881.00	0.26	2,896.39	15.00
ASP-26	2,880.50	0.26	2,896.08	16.00
ASP-27	2,880.20	0.26	2,895.78	16.00
TANQUE 2	2,880.00	3.12	2,895.68	16
ASP-28	2,876.70	0.78	2,895.57	19.00
ASP-29	2,876.45	0.78	2,895.53	19.00
ASP-31	2,876.00	0.78	2,895.50	19.00
ASP-30	2,876.15	0.78	2,895.51	19.00

Nota. Resultados entregados por el cálculo del Software WaterCAD. Elaborado por: El autor.

Figura 29

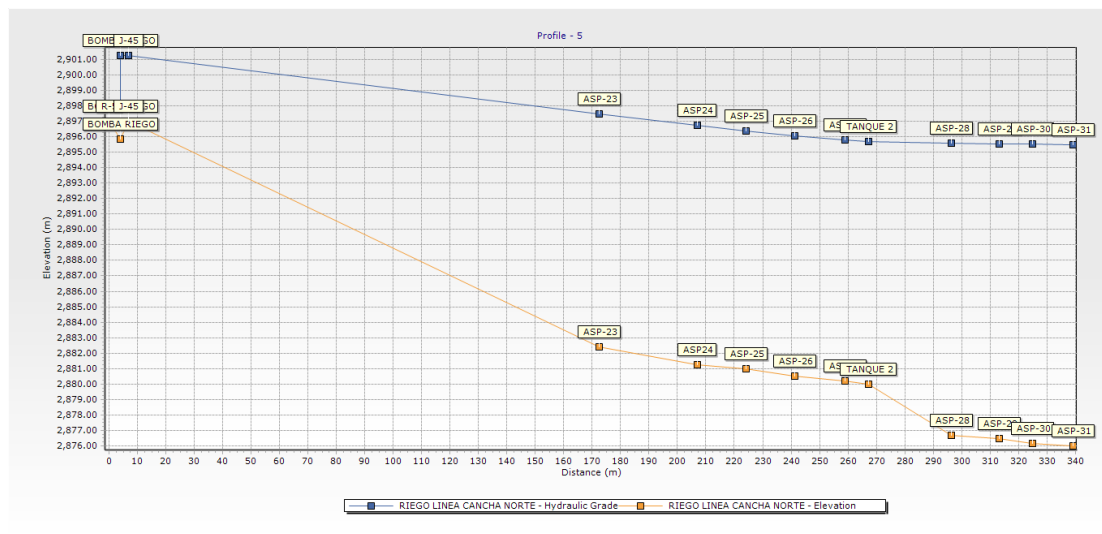
Esquema del Trazado de la Línea de Riego Cancha Norte



Nota. Esquema de trazado para riego en la línea de la cancha norte extraído de WaterCAD. Elaborado por: El autor.

Figura 30

Perfil de la Línea de Riego Cancha Norte



Nota. Perfil de línea de gradiente hidráulico y elevaciones de cada aspersor. Elaborado en WaterCAD por el autor.

El trazado de la figura 29 referente a la línea de riego para la Cancha norte (Frente al Bloque G), se compone de 9 aspersores que poseen unas tuberías de 90 mm de diámetro nominal, la cual requiere que por cada aspersor la demanda sea de 0.26 L/s y 0.78 L/s ya que la línea se compone de los dos tipos de aspersores propuestos con un valor que se expone entre los resultados de la tabla 39, donde el caudal que sale del tanque es de 4.42 L/s y distribuye al resto de la red. Para la conducción se implementa una bomba con 0.5 KW de potencia que permite el incremento de las presiones y da como resultado una carga de presión entre 15 -19 metros de columna de agua, siendo este resultado satisfactorio para aspersores de alta eficiencia (rotores) que requieren demandas de entre 15 a 41 metros de columna de agua.

Adicionalmente, en la línea de conducción se plantea la posibilidad de inclusión de un reservorio ubicado cerca a la cancha del bloque G que permita realizar un riego hacia el espacio de gran extensión con una demanda acumulada de 3.12 metros de columna de agua como se muestra en la tabla 39.

Finalmente, el incremento de presiones se ve representado en los perfiles (Figura 30), donde la línea amarilla representa la elevación de los aspersores y del tanque de reserva, mientras que la línea azul representa la adición de carga y la línea de gradiente hidráulico que se obtiene al finalizar la simulación de riego de manera que en elevación se parte de la cota 2897 msnm y se alcanza la cota 2876.15 msnm y con la inclusión de bomba se obtiene una elevación de gradiente hidráulico a la cota 2901.28 msnm y finaliza en la cota 2895.51 msnm.

Tabla 40*Tabla de Resultados de Tubería de Bombeo*

Etiqueta	Longitud(m)	Nodo Inicial	Nodo Final	Diámetro (mm)	Material	Hazen-Williams C	Coefficiente de Perdida Menor (Local)	Flujo (L/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente (m/m)
LBO-1	1	CÁRCAMO	BOMBA EXTRACCIÓN	99.6	PVC	150	0	1.91	0.25	0.001
LBO-2	268	BOMBA EXTRACCIÓN	TANQUE 1	99.6	PVC	150	1.6	1.91	0.25	0.001

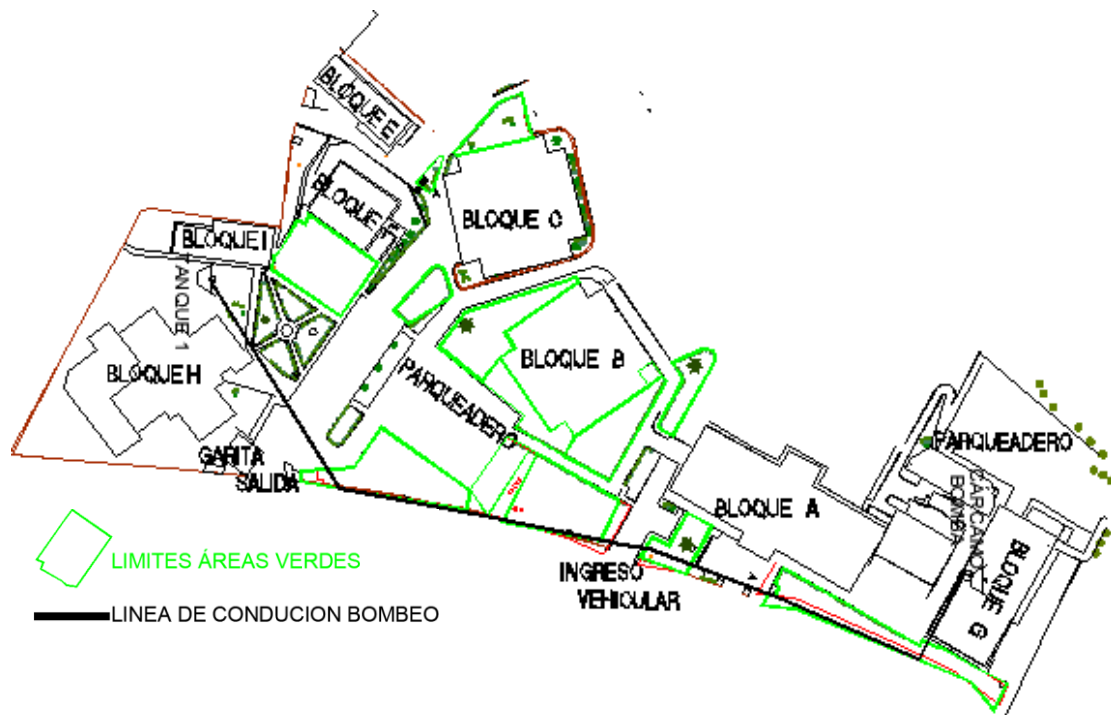
Nota. Resultados entregados por el cálculo del Software WaterCAD. Elaborado por: El autor.**Tabla 41***Tabla de Resultados de Tanque*

Etiqueta	Elevación (m)	Demanda (L/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (m H2O)
TANQUE 1	2,897.00	1.91	2,897.03	0

Nota. Resultados entregados por el cálculo del Software WaterCAD. Elaborado por: El auto

Figura 31

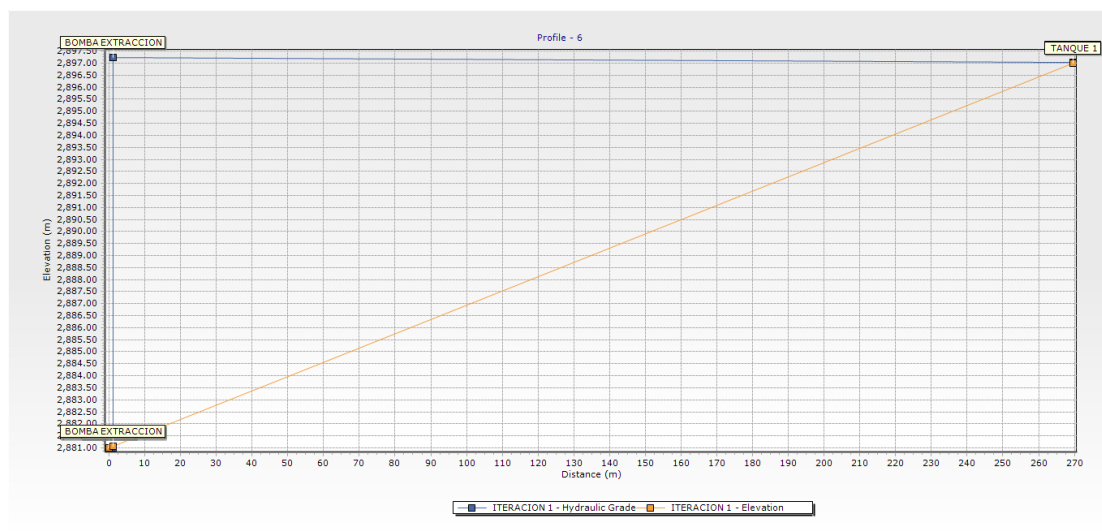
Esquema del Trazado de la Línea de Bombeo



Nota. Esquema de trazado para riego en la línea de bombeo de WaterCAD. Elaborado por el autor

Figura 32

Perfil de Línea de Bombeo



Nota. Perfil de línea de gradiente hidráulico y elevaciones de cada aspersor. Elaborado en WaterCAD por: El autor.

El trazado de la figura 31 referente a la línea de bombeo, se compone de tuberías de 110 mm de diámetro nominal, las cuales se conectan a una bomba que se encarga de la extracción de un caudal de 1.91 L/s como se indica en la tabla 41, donde también se verifica el correcto funcionamiento de la bomba, al no generarse presiones en el punto de entrega.

Finalmente, el incremento de carga se ve representado en el perfil (Figura 32), donde la línea amarilla representa las elevaciones del cárcamo y del tanque de reserva, mientras que la línea azul representa la adición de carga y la línea de gradiente hidráulico que se obtiene al finalizar la simulación de impulsión de manera que en elevación se parte de la cota 2881 msnm y se alcanza la cota 2897 msnm en respuesta la gradiente hidráulica eleva la carga hasta 2897.03 msnm resultando en una entrega satisfactoria.

En síntesis, la modelación, permite estimar que diámetros son los ideales para el correcto funcionamiento de la red al incluirse todos los accesorios como bombas, que permitan establecer los parámetros de verificación, como en el caso de aspersores, se analiza la presión que indica un rango de funcionamiento ideal respecto a las indicaciones de los aspersores seleccionados. Todos los resultados se evidencian en la tabla 42 que indica los requerimientos por aspersor y la presión de funcionamiento.

Tabla 42

Resultados de Diseño

DESCRIPCIÓN	ΦNOMINAL (mm)	Nº ASPERSORES	DEMANDA TOTAL (L/s)	DEMANDA POR ASPERSOR (L/s)	PRESIÓN (mca)	POTENCIA BOMBA (KW)
Línea de riego A	63	8	2.08	0.26	19 - 22	
Línea de Riego B.	63	12	3.12	0.26	15 - 19	
Línea de Riego Cancha Oeste	63	2	1.56	0.78	26	0.5
Línea de Riego Cancha Norte	90	9	4.42	0.78 y 0.26	15 - 19	
Línea de Bombeo	110	0	1.91	1.91	0	0.402

Nota. Resumen de los resultados finales que se obtienen de la modelación, el establecimiento de sección de tubería y las características de los aspersores. Elaborado por: El autor.

CONCLUSIONES

En respuesta al objetivo general, el diseño contempla el desarrollo de dos etapas fundamentales, una asociada a lo agronómico para el desarrollo de un plan de riego, y otra relaciona lo hidráulico, donde se establece el dimensionamiento y la planificación de estructuras hidráulicas para el funcionamiento de la red. En el presente proyecto técnico se genera una propuesta para riego planificada para jardineras y canchas de la Universidad Politécnica Salesiana campus sur, con una infraestructura hidráulica compuesta principalmente por una conducción con bombeo que transporta el agua desde el cárcamo hacia un tanque exterior que distribuye impulsado por una bomba de riego, para 4 líneas de conducción hacia las áreas naturales de la institución.

En cuanto a la recolección de datos, respecto a la medición de niveles, en el proyecto se llevó a cabo una campaña de aforamiento que permitió la estimación de los niveles del tanque, un flujo de ingreso y de salida de 1.91 L/s en promedio.

En relación con el plan de riego, se establece que se realice un riego cada 7 días durante 2 horas para una lámina de riego de 13.68 mm, para tener un volumen y sección de mayor factibilidad constructiva. Por último, esta sección del diseño, determina mediante un balance con la precipitación efectiva, que el requerimiento hídrico se ajusta para los meses de mayo a noviembre, siendo estas temporadas las de desarrollo, mediado y final del cultivo las cuales requieren de riego por su desarrollo y por la época estacional en la que se encuentran.

En lo que se refiere al diseño hidráulico, el desarrollo del modelo permite la determinación de los diámetros las líneas de conducción como las presiones en los aspersores, de modo que si se analiza cada tramo se obtiene:

La línea de bombeo, con diámetro nominal de 110 mm, con presiones nulas a la llegada, la misma requiere de una bomba que necesita vencer una carga de 16.235 m, para la cual se

requiere de una potencia de 0.405 KW para alcanzar al tanque de almacenamiento de 5 x 5x 2.10 metros.

Las líneas de riego LA, LB, LCO manejan un diámetro nominal de 63 mm y mientras que LCN posee una sección de 90 mm, las conducciones establecen un rango de presión de funcionamiento de 15 a 20 mca generadas gracias a la inclusión de una bomba de 0.50 KW específica para riego.

Respecto a los aspersores, la propuesta plantea dos clases de dispositivos, uno de boquilla rotativa y otra de tipo rotor, las cuales requieren de una demanda 0.26 L/s y 0.78 L/s. Para el presente proyecto se requiere 25 aspersores de boquilla rotativa que cubrirán las áreas naturales de sección pequeña como son las jardineras y 6 aspersores de alta eficiencia para las canchas de futbol dado a su diámetro de alcance mayor.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que el sistema aplique riegos por turnos, dado a la capacidad de almacenamiento que se tiene respecto al diseño planteado, de manera que se pueda cubrir las áreas, permitiendo la recarga del tanque tras cada riego realizado a las 4 zonas establecidas.

Se recomienda el desarrollo de un estudio de parámetros físicos del suelo, con ensayos de laboratorio que permitan establecer con mayor precisión las características del terreno requeridas para la planificación de riego.

Dado que la universidad posee un total de dos cárcamos con descargas de aguas subterráneas y que las campañas de aforo requieren de un tiempo extenso, se establece la necesidad de un estudio de aprovechamiento con la segunda unidad de ojo de agua, de manera complementaria al presente proyecto.

Tener presente la necesidad de mantener la existencia del sistema de descarga al alcantarillado público en caso de situaciones de llenado completo de los reservorios.

Se propone realizar un análisis de escenarios transitorios, ya que la inclusión de un sistema de bombeo genera la posibilidad de golpe de ariete, efecto a considerar como importante y del cual se deben crear alternativas de protección.

Por último, se invita a que, para una mejor optimización del sistema, se desarrolle una propuesta subsecuente asociada a la automatización y monitoreo del proyecto, por lo que se recomienda el enlace con la ingeniería eléctrica, quien puede implementar modelos SCADA que innoven tecnológicamente el diseño expuesto.

REFERENCIAS

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.* . Roma: FAO.
- Bentley Systems Incorporated. (2012). *WaterCAD/GEMS V8i, Curso de Modelación y Diseño de Sistemas de Distribución, Intermedio(sistema métrico).* Pennsylvania: Bentley Systems Incorporated.
- Berlijn, J., & Brouwer, C. (2006). *Riego y Drenaje. Área: Suelos y Agua 35.* Mexico D.F.: Trillas.
- Cadena, V. (2016). *Hablemos de Riego.* Quito: El Telégrafo EP.
- Cárdenas, J., Pesántez, F., Calle, J., Arévalo, P., & Serrano, X. (2024). *EL LIBRO BLANCO DE LA GESTION AMBIENTAL UNIVERSITARIA.* Cuenca: Abya-Yala.
- Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego.* Tegucigalpa: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria FAO.
- Çengel, Y., & Cimbala, J. (2016). *MECANICA DE FLUIDOS. Fundamentos y aplicaciones.* Mexico, D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- DATAFLOW SYSTEMS. (2012). *Odyssey Data Logging software Operating Manual.* Christchurch: DATAFLOW SYSTEMS.
- DATAFLOW SYSTEMS. (2012). *TECHNICAL HANDBOOK FOR ODYSSEY DATA LOGGER.* Christchurch: DATAFLOW SYSTEMS.
- EBARA. (2025). *Tarifa - Catálogo 2025.* Madrid.
- EMPRESA METROPOLITANA DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE. (2009). *NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE PARA LA EMAAPS-Q.* Quito: V&M Gráficas.
- Fuentes, J., & García, G. (1999). *Técnicas de Riego; Sistemas de Riego en la Agricultura.* México, DF: MUNDI-PRENSA MÉXICO, S,A, DE C.V.
- Gurovich, L. (1985). *Fundamentos y Diseño de Sistemas de Riego.* San José: IICA.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2010). *Anuario Meteorológico 2008. Nro. 48 Version Preliminar.* Quito: INAMHI.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2012). *Anuario Meteorológico 2009. Nro. 49.* Quito: INAMHI.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2012). *Anuario Meteorológico 2010. Nro.50 Verion Preliminar .* Quito: INAMHI.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2014). *Anuario Meteorológico. ro. 51-2011.* Quito: INAMHI.

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2015). *Anuario Meteorológico. Nro. 52-2012*. Quito: INAMHI.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2017). *Anuario Meteorológico. Nro. 53-2013*. Quito: INAMHI.
- Legarda, L., & Ruiz, H. (2000). Medición de Corrientes de Agua con Fines de Ingeniería de Regadíos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 338-353.
- Legarda, L., & Ruiz, H. (2000). Medición de Corrientes de Agua con Fines de Ingeniería de Regadíos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 338-353.
- Loaiza, Y. (23 de Septiembre de 2024). Ecuador: apagones de hasta once horas no consecutivas por la sequía. *Infobae*.
- Plastigama. (s.f.). *Tuberías y Accesorios de PVC y PE BÍ*.
- Rain Bird Corporation. (2018). *Catálogo de Productos para Riego de Jardines*. Arizona: Rain Bird Corporation.
- Rodríguez, A., Avila, R., Yruela, M. d., Plaza, R., Navas, A., & Fernández, R. (s.f.). *Manual de Riego de Jardines*. Andalucía: VICECONSEGERIA, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- Rojas, H. (2010). *Manual del Curso de Irrigación y Drenaje*. Chimbote: Universidad Nacional del Santa.
- Saldarriaga, J. (2007). *Hidráulica de Tuberías*. Bogotá: Alfaomega.
- Rosero, J. (2021). Análisis geotécnico de la cimentación del bloque "G" de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Campus Sur, empleando el software midas GTS NX. [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador]
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20493>
- Pilco, J. (2023). Estudio del aprovechamiento de los Caudales subterráneos de los predios del "Bloque G" de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur" [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador].
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24274>
- Franco, P., Rodríguez, M. Formulación de Líneas Estratégicas para un proyecto participativo de conservación de un ojo de agua de la parroquia el condado, barrio colinas del norte, sector el manantial y sector rancho bajo [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]
<https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e85e9c76-2c4c-4481-adbc-eeadbc27b8/content>
- Criollo, L. (2021). Diseño del sistema de riego por aspersión y sistema de drenaje de la cancha principal de la Liga Parroquial Zámbriza, cantón Quito, provincia de Pichincha [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22716>

- Guayasamín, A., Riofrio, J. (2020). Diseño Hidráulico para el Mejoramiento y Rehabilitación del Sistema de Riego de la Comuna San Vicente Alto, Ubicada en la Parroquia Cangahua, Cantón Cayambe, Provincia de Pichincha Ecuador [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador]
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19353/1/UPS%20-%20TTS190.pdf>
- Huayra, Y., Layme, C. (2018). Comparación de Atributos del Softwares Python con WaterCAD – SewerCAD, en el Diseño de suministro de Agua Potable en el centro poblado de Silva -Acoria – Huancavelica [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]
- Lozano, K. (2025). Modelación Hidráulica de la Red Sanitaria de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito, Campus Sur [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador]
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29604/1/TTS2100.pdf>